



TUGAS AKHIR – TI 141501

**SIMULASI *ORDER PICKING* PADA GUDANG PUSAT DISTRIBUSI
UNTUK MEMINIMASI WAKTU PEMENUHAN ORDER**

ELSA WINANDA REZKY

NRP 2512 100 116

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D, CSCP

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – TI 141501

**ORDER PICKING SIMULATION IN A DISTRIBUTION CENTER
WAREHOUSE TO MINIMIZE ORDER FULFILLMENT TIME**

ELSA WINANDA REZKY

NRP 2512 100 116

Supervisor

Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D, CSCP

INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI *ORDER PICKING* PADA GUDANG PUSAT DISTRIBUSI UNTUK MEMINIMASI WAKTU PEMENUHAN ORDER

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada:

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Penulis:

ELSA WINANDA REZKY

NRP. 2512 100 116



Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read "I Nyoman Pujawan".

Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP

NIP. 19690107 199412 1001

SIMULASI *ORDER PICKING* PADA GUDANG PUSAT DISTRIBUSI UNTUK MEMINIMASI WAKTU PEMENUHAN ORDER

Nama : Elsa Winanda Rezky
NRP : 2512 100 116
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP

ABSTRAK

Order picking merupakan salah satu aktivitas yang sangat penting pada gudang, karena kegiatan *order picking* ini bersentuhan langsung dengan pemenuhan permintaan dan juga akan berhubungan dengan kepuasan pelanggan. PT X merupakan salah satu perusahaan alas kaki yang ada di Surabaya, Jawa Timur, yang saat ini memiliki masalah terkait dengan waktu pemenuhan order. Manajer gudang menyatakan bahwa waktu pemenuhan order mencapai rata-rata lima hari. Hal ini dikarenakan kurangnya petugas pengambil barang atau *picker* yang ada pada gudang. Manajer gudang berencana untuk menambah jumlah *picker* namun manajer gudang tersebut membutuhkan angka yang optimum dalam menentukan penambahan jumlah *picker* tersebut. Manajer gudang juga berencana untuk mengatur sistem penugasan *picker*, yang semula *picker* bekerja secara fleksibel ke seluruh area atau secara seri, menjadi penugasan *picker* berdasarkan area-area tertentu atau secara paralel. Trade-off yang terjadi adalah adanya ketidakpastian order baik dari aspek kuantitas maupun waktu kedatangannya yang memungkinkan adanya ketidakseimbangan beban kerja. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi simulasi dengan *software* ARENA, dengan mensimulasikan beberapa kemungkinan jumlah *picker* dan strategi penugasan *picker* (seri dan paralel) untuk meminimasi waktu pemenuhan order dengan tetap mempertimbangkan beban kerja *picker*, yaitu memperhatikan utilisasi tiap *picker*.

Kata kunci: ARENA *simulation software*; *Order picking*; Pemenuhan Order; Simulasi; Utilisasi.

ORDER PICKING SIMULATION IN A DISTRIBUTION CENTER WAREHOUSE TO MINIMIZE ORDER FULFILLMENT TIME

Name : Elsa Winanda Rezky
Student ID : 2512 100 116
Supervisor : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP

ABSTRACT

Order picking is one of the most important activities in a warehouse. It is because of order picking is directly related with the demand fulfillment which is also related with customer's satisfaction. PT X is a footwear company in Surabaya, East Java, Indonesia, which currently has problem with the order fulfillment time. The warehouse manager gives information that the order fulfillment time is about five to (in the worst case) ten days and it is caused by the lack of pickers in the warehouse. The manager plans to hire more pickers but he needs the optimum number of it. The warehouse manager is also planning to reset the order picking strategy, which the initial condition is that the pickers are allowed to work in all area and the manager is planning to change it into an area-based strategy. The trade-off is that the order, both the quantity and the arrival time, is uncertain, which it could cause the possibility of the inbalance workload of the pickers. This study aims to run a simulation with ARENA Simulation Software for an order picking activity in PT X, with some number of pickers and also the picking strategy in order to minimize the order fulfillment time and also balancing the workload of the pickers through observation of its utilization.

Keywords: ARENA simulation software; Order fulfillment; Order picking system; Simulation; Utilization.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
1.5.1 Batasan.....	6
1.5.2 Asumsi.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Pengambilan Barang Order pada Gudang (<i>Order Picking</i>).....	9
2.1.1 Proses Pengambilan Barang Order.....	9
2.1.2 Strategi Pengambilan Barang Order pada Gudang.....	10
2.1.3 <i>Order Picking Cycle Time</i>	12
2.1.4 <i>Order Batching</i>	13
2.2 Simulasi.....	14
2.2.1 Sistem dan Pemodelan.....	14
2.2.2 Simulasi dengan ARENA.....	16
2.3 Penelitian Terdahulu.....	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Pengamatan Lapangan dan Pengumpulan Data.....	20

3.2 Pengolahan Data.....	21
3.3 Pengembangan Model.....	21
3.3.1 Pengembangan Model Konseptual.....	22
3.3.2 Pengembangan Model Simulasi.....	23
3.3.3 Verifikasi dan Validasi.....	24
3.4 Analisis dan Intrepretasi Hasil Simulasi.....	25
BAB 4 PENGOLAHAN INPUT DAN PENGEMBANGAN MODEL.....	27
4.1 Pengumpulan Data.....	27
4.1.1 Prosedur <i>Order Picking</i> Eksisting.....	27
4.1.2 Data Detail Order.....	29
4.1.3 Data Alamat Rak Penyimpanan.....	29
4.1.4 <i>Layout</i> Gudang.....	30
4.1.5 Data <i>Processing Time</i>	30
4.2 Pengolahan Data.....	30
4.2.1 Waktu Antar Kedatangan Order.....	31
4.2.2 Pembagian Area <i>Picking</i>	32
4.2.3 Identifikasi Isi Order.....	33
4.2.4 Identifikasi Kuantitas Order.....	35
4.2.5 Perhitungan <i>Travel Time</i>	37
4.2.6 <i>Fitting</i> Distribusi Data.....	37
4.3 Pengembangan Model Simulasi.....	38
4.3.1 Model Simulasi Sistem <i>Release DO</i>	38
4.3.2 Model Simulasi Sistem <i>Batch Picking</i> (Eksisting).....	39
4.3.3 Skenario Percobaan.....	41
4.4 <i>Running</i> Model Simulasi.....	44
4.5 Verifikasi dan Validasi.....	44
4.5.1 Verifikasi.....	44
4.5.2 Validasi.....	49
4.6 Penentuan Jumlah Replikasi.....	51

4.7 Hasil Simulasi.....	53
BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI.....	57
5.1 Analisis <i>Order Cycle Time</i> dan Utilitas <i>Picker</i>	57
5.1.1 Skenario 2 Orang <i>Picker</i>	57
5.1.2 Skenario 3 Orang <i>Picker</i>	58
5.1.3 Skenario 4 dan 5 Orang <i>Picker</i>	59
5.2 Analisis Pemilihan Skenario Terbaik.....	60
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
6.1 Kesimpulan.....	63
6.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	67
BIOGRAFI PENULIS.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 3. 1 Skenario Percobaan.....	24
Tabel 4. 1 Waktu Antar Kedatangan Order.....	31
Tabel 4. 2 Pembagian Area <i>Picking</i>	33
Tabel 4. 3 Hasil Identifikasi Isi Order.....	34
Tabel 4. 4 Data Kuantitas Order.....	36
Tabel 4. 5 Hasil <i>Fitting</i> Distribusi Data.....	37
Tabel 4. 6 Data Jumlah DO per Hari untuk Validasi.....	50
Tabel 4. 7 Hasil Validasi dengan Uji Statistik <i>T-test</i>	51
Tabel 4. 8 Rekap Hasil Simulasi.....	54
Tabel 4. 9 Rekap Hasil Persentase Komponen <i>Order Cycle Time</i>	55
Tabel 4. 10 Rekap Utilitas <i>Picker</i> Hasil Simulasi.....	55
Tabel L. 1 Data <i>Processing Time</i>	67
Tabel L. 2 Data Kombinasi Isi Order.....	68
Tabel L. 3 <i>Travel Time Matrix</i>	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Pertumbuhan Nilai Ekspor Produk Alas Kaki di Indonesia.....	2
Gambar 1. 2 Perkembangan Jumlah Produsen Alas Kaki di Indonesia.....	2
Gambar 2. 1 Proses Aliran Barang pada Gudang (Koster et al., 2007).....	9
Gambar 2. 2 Skema <i>Order Batching</i> (Pan et al., 2015).....	14
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengembangan Model Simulasi.....	22
Gambar 4. 1 Diagram Alir Prosedur Pengambilan Barang.....	28
Gambar 4. 2 <i>Layout</i> Gudang.....	30
Gambar 4. 3 Pembagian Area <i>Picking</i>	32
Gambar 4. 4 Model Simulasi Sistem <i>Release DO</i>	38
Gambar 4. 5 Model Simulasi Sistem <i>Batching Order</i>	39
Gambar 4. 6 Model Simulasi Sistem <i>Routing Picker</i>	40
Gambar 4. 7 Model Simulasi Sistem <i>Pick in Broken Area</i>	40
Gambar 4. 8 Model Simulasi Sistem <i>Pick in Full Area</i>	41
Gambar 4. 9 Model Skenario Percobaan.....	41
Gambar 4. 10 Verifikasi dengan fitur <i>Model Check</i> pada ARENA.....	45
Gambar 4. 11 Verifikasi Model <i>Release DO</i>	46
Gambar 4. 12 Verifikasi Model <i>Batching DO</i>	46
Gambar 4. 13 Verifikasi Model <i>Routing Picker</i>	47
Gambar 4. 14 Verifikasi Model <i>Picking Process</i>	47
Gambar 4. 15 Verifikasi Model <i>Picking Process</i> dengan Parameter <i>Cycle Time</i>	48
Gambar 4. 16 Gambaran Rute Perjalanan.....	49
Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Jumlah DO per Hari	50
Gambar 5. 1 Diagram Plot Perbandingan Antar Skenario.....	60
Gambar L. 1 Keseluruhan Model Simulasi.....	81
Gambar L. 2 <i>Assign Travel Time Matrix</i> dengan Distribusi <i>Uniform</i>	81
Gambar L. 3 Model Simulasi <i>Updater Jam</i>	82

Gambar L. 4 Logika Order Ditahan Bila Datang di Luar Jam Operasional.....	82
Gambar L. 5 Logika <i>Assignment</i> Kombinasi Isi Order.....	82
Gambar L. 6 Logika <i>Assignment</i> Kuantitas Order.....	83
Gambar L. 7 Logika <i>Batching</i>	83
Gambar L. 8 Logika <i>Routing Picker</i>	83
Gambar L. 9 Logika Pengambilan di Area <i>Broken</i>	84
Gambar L. 10 Logika Jumlah Pengambilan di Area <i>Broken</i>	84
Gambar L. 11 Logika Pengambilan Barang di Area <i>Full</i>	84
Gambar L. 12 Perhitungan <i>Order Cycle Time</i>	85
Gambar L. 13 Logika <i>Assignment</i> Order dan Area Tujuan	85
Gambar L. 14 Logika Proses <i>Paralel Picking</i>	85

DAFTAR LAMPIRAN

Data Processing Time.....	67
Data Kombinasi Isi Order.....	68
Data Travel Time Matrix.....	77
Model dan Logika Simulasi.....	81

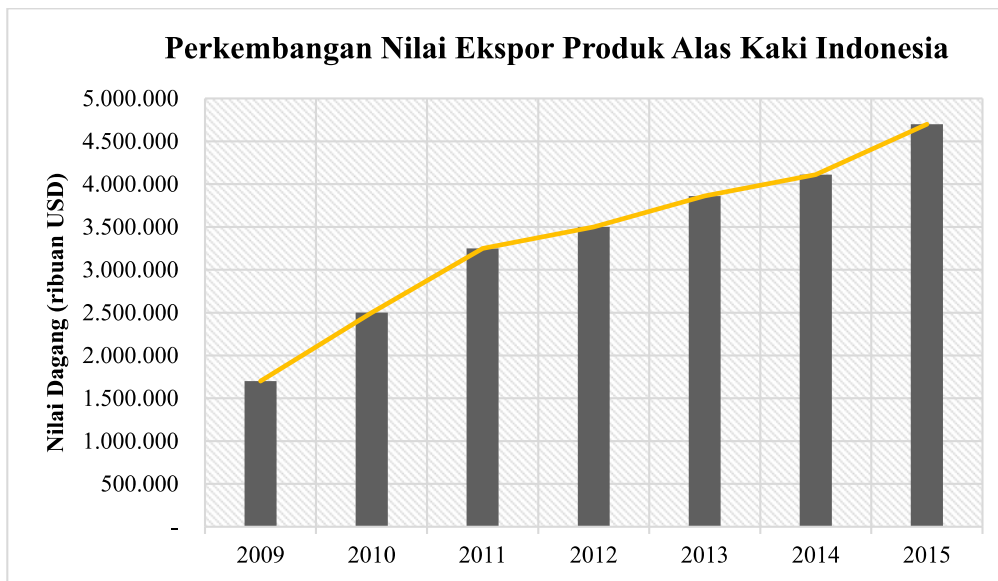
BAB 1

PENDAHULUAN

Pada Bab 1 ini dijelaskan mengenai beberapa hal mengenai pendahuluan penelitian, di antaranya adalah latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta ruang lingkup yang membatasi penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Produk alas kaki, khususnya sepatu, pada dasarnya merupakan kebutuhan primer manusia. Alas kaki juga merupakan salah satu produk *fashion*, di mana produk-produk *fashion* pada era seperti sekarang ini sedang berkembang dengan sangat pesat. Industri-industri alas kaki di Indonesia saat ini sedang mengalami perkembangan. Meskipun Indonesia masih melakukan impor untuk produk alas kaki, namun Indonesia juga melakukan ekspor produk-produk alas kaki buatan dalam negeri dengan kualitas yang baik. Bahkan Kementerian Perindustrian (Kemenperin) menilai sektor industri alas kaki sebagai sektor industri yang unggul karena industri alas kaki di Indonesia termasuk salah satu sektor industri yang mendatangkan devisa negara yang cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat dari nilai ekspor produk alas kaki Indonesia yang selalu mengalami kenaikan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2009 nilai ekspor produk alas kaki di Indonesia mencapai USD 1,7 miliar. Angka tersebut terus mengalami peningkatan hingga tahun 2015 lalu nilai ekspor produk alas kaki Indonesia mencapai USD 4,4 miliar sebagaimana yang digambarkan pada Gambar 1.1. Berdasarkan informasi dari Kementerian Perindustrian tahun 2014, nilai ekspor produk alas kaki buatan Indonesia yang cukup tinggi ini juga berarti bahwa Indonesia mampu memenuhi 3% kebutuhan produk alas kaki dunia.



Gambar 1. 1 Grafik Pertumbuhan Nilai Ekspor Produk Alas Kaki di Indonesia
(Sumber: kemendag.go.id, 2015)

Selain itu, perkembangan idnustri alas kaki di Indonesia juga ditandai dengan adanya kenaikan jumlah perusahaan-perusahaan produsen alas kaki dari tahun ke tahun seperti yang digambarkan pada Gambar 1.2 berikut ini.



Gambar 1. 2 Perkembangan Jumlah Produsen Alas Kaki di Indonesia (EIBN, 2014)

Berdasarkan informasi-informasi yang diperoleh tersebut, terkait nilai ekspor dan perkembangan produsen alas kaki di Indonesia, maka dapat diindikasikan

bahwa Indonesia memiliki sektor industri alas kaki yang potensial. Hal ini menjadi kesempatan dan juga tantangan bagi perusahaan-perusahaan produsen alas kaki di Indonesia untuk meningkatkan kualitas serta *competitiveness* untuk dapat bersaing di pasaran.

Produk alas kaki merupakan salah satu produk yang termasuk dalam kategori produk inovatif. Karakteristik dari produk inovatif di antaranya adalah tingkat ketidakpastian permintaannya cenderung tinggi dan memiliki umur hidup produk yang cenderung singkat. Strategi *supply chain* yang diperlukan dalam menangani jenis produk inovatif ini adalah strategi responsif (Pujawan & Mahendrawati, 2010). Selain kualitas produk, untuk meningkatkan *competitiveness* industri-industri alas kaki di Indonesia, *responsiveness* adalah salah satu faktor yang sangat penting untuk diperhatikan.

Responsiveness sendiri erat kaitannya dengan pemenuhan order dari pelanggan. PT X merupakan salah satu perusahaan produsen sepatu yang ada di Surabaya, Jawa Timur, yang saat ini menghadapi permasalahan terkait *responsiveness*-nya terhadap permintaan dari pelanggan. Hingga saat ini PT X memproduksi lebih dari 1000 varian produk, di mana produk-produk yang diproduksi tersebut dikategorikan ke dalam empat divisi, yaitu divisi *Sport*, *Kids*, *Men*, dan *Women*. Dalam mengelola aliran produknya, PT X memiliki dua unit gudang pusat distribusi dengan beberapa gudang pendukung. Permasalahan bermula pada panjangnya *cycle time* pemenuhan order pada gudang pusat distribusi. Awalnya permasalahan ini muncul karena kondisi tata letak gudang yang kurang baik yang menyebabkan proses pencarian barang berlangsung dengan sangat lama. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan *order cycle time* mencapai lima hingga bahkan dalam kasus terburuk dapat mencapai sepuluh hari.

Menanggapi masalah tersebut, PT X telah melakukan perbaikan dengan penataan kembali penempatan barang di mana pembagian areanya dibagi berdasarkan divisi produk dan keutuhan palet, yaitu divisi *Male*, *Female*, *Kids*, *Sport*, dan area *broken*. Area *broken* berisi produk dari berbagai jenis divisi, namun dalam jumlah receh atau tidak satu palet penuh. Sedangkan barang yang disimpan dalam area divisinya masing-masing merupakan barang *full pallet*. Adanya

kebijakan penempatan barang tersebut memiliki tujuan utama untuk memudahkan penempatan maupun pengambilan barang.

Adanya perbaikan yang demikian, sudah pasti akan menghasilkan *cycle time* pengambilan barang yang lebih pendek dilihat dari segi area pengambilan barang yang lebih teratur. Perbaikan ini mampu menurunkan *order cycle time* hingga tiga hingga enam hari. Namun perbaikan ini masih dapat dimaksimalkan lagi dengan upaya-upaya lain selain pembenahan tata letak gudang. Berdasarkan informasi dari manajer operasional pada gudang pusat distribusi PT X ini, pemenuhan order yang sehari-hari ini disebabkan oleh kurangnya *resource* untuk melakukan kegiatan *order picking*, di mana dalam gudang tersebut hanya terdapat dua orang *picker* atau petugas pengambil barang. Proses *order picking* ini menjadi sulit dengan adanya hal ini, ditambah dengan luasnya gudang yang ada bisa mencapai 1600 m² dan dengan jumlah order yang cenderung tinggi, yakni mampu mencapai rata-rata lebih dari 150 order yang harus diproses setiap harinya. Melihat hal ini, manajer gudang bermaksud untuk menambah jumlah *picker*. Manajer gudang mengharapkan waktu pemenuhan order dapat lebih singkat lagi, tidak hanya dalam hitungan hari, namun diharapkan mampu mencapai hitungan jam.

Penelitian ini bertujuan untuk membantu manajer gudang mengambil keputusan terkait berapa orang *picker* yang harus ditambah untuk membantu proses *order picking* yang ada pada gudang tersebut. Dalam hal ini, yang menjadi *trade-off* adalah adanya fluktuasi permintaan, baik dari segi jenis maupun kuantitas barang, dan juga waktu kedatangan order, yang memungkinkan untuk terjadi ketidakseimbangan beban kerja antar *picker* bila jumlahnya terlalu banyak. Manajer gudang juga berencana untuk membuat kebijakan penugasan *picker* untuk bertanggung jawab per area penyimpanan tertentu, di mana sebelumnya seorang *picker* ditugaskan fleksibel ke seluruh area pada gudang. Dengan adanya hal ini, penulis melakukan penelitian terkait aktivitas *order picking*. Dengan adanya ketidakpastian permintaan, baik dari segi jumlah maupun waktu kedatangannya, penulis melakukan studi simulasi untuk mengakomodir adanya ketidakpastian tersebut. Studi simulasi dilakukan dengan percobaan beberapa jumlah *picker* dan juga sistem penugasan *picker*, apakah secara seri atau paralel, untuk meminimasi waktu pemenuhan order.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah terkait dengan penentuan jumlah petugas pengambil barang atau *picker*, serta menentukan kebijakan penugasan *picker* pada gudang, apakah ditugaskan secara fleksibel ke seluruh area yang memungkinkan pengambilan barang secara seri, atau penugasan *picker* dibagi berdasarkan area tertentu, yang memungkinkan pengambilan barang dilakukan secara paralel pada masing-masing area.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian mengenai simulasi pengambilan barang order dalam gudang pada PT X ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah petugas pengambil barang atau *picker* pada gudang yang optimum untuk menghasilkan *cycle time* pemenuhan order yang minimum.
2. Menentukan strategi penugasan *picker* yang paling baik antara *serial picking* atau *parallel picking* untuk menghasilkan *cycle time* pemenuhan order yang minimum.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian mengenai simulasi pengambilan barang order dalam gudang pada PT X ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu pihak manajer gudang pada PT X dalam menentukan jumlah pengambil barang atau *order picker*.
2. Membantu pihak manajer gudang pada PT X dalam menentukan strategi penugasan *picker* yang efektif dan efisien.
3. Dapat menjadi referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya terkait permasalahan *order picking*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Pada subbab ini dijelaskan mengenai ruang lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi. Kedua poin tersebut dijelaskan dalam subbab-subbab di bawah ini.

1.5.1 Batasan

Hal-hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gudang yang dijadikan objek dalam penelitian ini adalah gudang pusat distribusi untuk wilayah Surabaya dan Jawa Timur pada PT X untuk produk sepatu.
2. Sistem yang diamati merupakan sistem pengambilan barang mulai dari order masuk ke gudang hingga barang dalam kondisi siap dikirim.
3. Data order yang diperoleh merupakan data dari PT X selama 20 bulan, yaitu bulan September 2014 hingga November 2015.

1.5.2 Asumsi

Berikut ini adalah asumsi-asumsi yang mendasari penelitian ini:

1. Barang dianggap selalu tersedia setiap kali akan dilakukan kegiatan pengambilan barang.
2. Kegiatan pengambilan barang order terjadi setiap hari.
3. Seluruh petugas pengambil barang atau *picker* memiliki kemampuan yang sama dalam melakukan kegiatan pengambilan barang.
4. Kuantitas order dalam satuan dus, di mana dalam satu dus terdapat 12 pasang produk.
5. Tidak ada perbedaan waktu pencarian barang untuk setiap area penyimpanan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada subbab ini dijelaskan mengenai sistematika penulisan pada laporan penelitian ini. Secara garis besar, laporan penelitian ini terdiri dari 6 bab pembahasan, yaitu pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian,

pengumpulan dan pengolahan data, analisis dan interpretasi data, serta kesimpulan dan saran. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing bab tersebut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengenalan dasar mengenai penelitian, di antaranya meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta ruang lingkup penelitian. Dalam bab ini juga akan dijelaskan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai studi literatur yang dilakukan oleh penulis. Bab ini berisi tentang berbagai landasan teori yang mendasari penelitian ini, di mana landasan teori tersebut dijadikan sebagai dasar dalam menentukan metode penyelesaian masalah yang menjadi fokus pada penelitian ini. Refrensi yang digunakan di antaranya bersumber dari jurnal, penelitian-penelitian terdahulu, dan buku.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai prosedur penyusunan penelitian ini, mulai dari identifikasi permasalahan hingga analisis dan penarikan kesimpulan. Dalam Bab 3 juga akan dijelaskan mengenai model konseptual yang merupakan dasar dari pengembangan model simulasi dalam penelitian ini.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab 4 akan disajikan mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini. Pengumpulan data yang diperoleh dari studi di lapangan oleh penulis akan dijelaskan dalam bab ini beserta pengolahannya untuk dijadikan *input* dalam model simulasi. Dalam bab ini juga dijelaskan mengenai pengembangan model simulasi itu sendiri, berdasarkan data-data yang ada dan juga model konseptual yang telah dibangun sebelumnya, penjelasan mengenai skenario-skenario percobaan yang akan dikembangkan, serta penjelasan mengenai verifikasi dan validasi model simulasi.

BAB 5 ANALISIS DAN INTEPRETASI DATA

Dalam Bab 5 akan dijelaskan mengenai analisis dan intepretasi data berdasarkan hasil pengolahan yang telah dilakukan di Bab 4. Analisis yang akan dilakukan adalah mengenai evaluasi perbaikan *cycle time* pengambilan barang, analisis jumlah *picker* yang optimum dan strategi pengambilan barang yang optimum berdasarkan intepretasi hasil simulasi dengan skenario-skenario percobaan yang telah dilakukan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab 6 akan berisi mengenai kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan ini. Kesimpulan akan menjawab tujuan dari penelitian ini, di mana tujuan penelitian telah dijelaskan dalam Bab 1, yaitu terkait pengukuran penurunan *cycle time* pengambilan barang, jumlah *picker* yang optimum, serta strategi *picking* yang paling efektif dan efisien.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

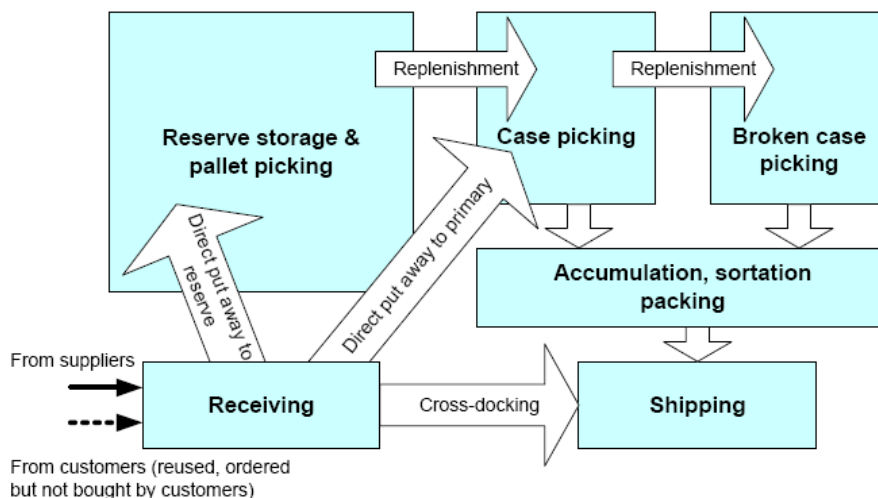
Pada Bab 2 ini dijelaskan mengenai beberapa studi literatur yang telah dilakukan oleh penulis. Tinjauan pustaka yang dilakukan adalah terkait dengan pengambilan barang pada gudang atau *order picking* dan simulasi.

2.1 Pengambilan Barang Order pada Gudang (*Order Picking*)

Dalam subbab ini dijelaskan mengenai teori-teori dasar terkait pengambilan barang pada gudang atau *order picking*. Sebagai kebutuhan dalam penelitian ini, studi literatur yang dilakukan terkait dengan *order picking* adalah mengenai proses *order picking*, strategi-strategi *order picking*, *order picking cycle time*, serta mengenai kebijakan *order batching*.

2.1.1 Proses Pengambilan Barang Order

Secara garis besar, proses aliran barang pada gudang terdiri dari penerimaan barang (*receiving*), penempatan barang (*put away*), pemindahan barang (*transporting*), pengambilan barang (*picking*), *packing*, dan pengiriman atau *shipping* (Lee et al., 2015).



Gambar 2. 1 Proses Aliran Barang pada Gudang (Koster et al., 2007)

Pengambilan barang pada gudang dilakukan apabila terdapat permintaan dari pelanggan. Pengambilan barang atau *order picking* melibatkan kegiatan pencarian barang dan pengumpulan barang dengan jenis dan jumlah barang yang tepat sesuai dengan pesanan. Proses pengambilan barang ini terus dilakukan hingga semua barang pesanan telah terkumpul dan siap untuk dikirim ke pelanggan. Proses *order picking* merupakan proses dalam gudang yang paling banyak membutuhkan tenaga manusia (Lee et al., 2015). Untuk gudang-gudang dengan sistem yang belum terotomasi, tenaga manusia sangat dibutuhkan dalam proses *order picking*, khususnya untuk mencari barang serta melakukan bongkar muat barang. Menurut Koster tahun 2007, tata letak penempatan barang juga sangat berpengaruh terhadap kecepatan pengambilan barang. Hal ini dikarenakan tata letak penempatan barang menentukan ke mana *picker* akan berjalan menuju tempat penyimpanan barang sesuai order, sehingga akan mempengaruhi *travel time* dan jarak yang ditempuh oleh *picker*.

2.1.2 Strategi Pengambilan Barang Order pada Gudang

Dalam memenuhi permintaan dari *customer*, adanya persediaan pada gudang menyebabkan aktivitas pengambilan barang order merupakan aktivitas yang sangat penting. Dari keseluruhan proses dalam gudang, pengambilan barang merupakan aktivitas yang paling diperhatikan oleh manajemen gudang (Piasecki, 2012). Hal ini dikarenakan oleh aktivitas pengambilan barang order pada gudang merupakan aktivitas yang berhubungan langsung dengan kepuasan *customer*, di mana dalam proses bisnis suatu perusahaan, kecepatan dan keakuratan pemenuhan order merupakan bagian yang paling esensial dalam mendapatkan kepercayaan dari *customer*.

Pada dasarnya, pengambilan barang di gudang terdiri dari 3 jenis, yaitu *piece-picking*, *case-picking*, dan *pallet-picking*. Namun penelitian ini berfokus kepada *piece-picking*, karena order yang masuk ialah dalam satuan pasang atau per *box* sepatu, meskipun disimpan dalam satuan palet. Pada subbab ini dijelaskan mengenai strategi-strategi pengambilan barang atau *order picking*, khususnya pengambilan barang jenis *piece-picking*, yaitu sebagai berikut:

- *Basic Order-picking*

Metode *basic-order picking* ini pada dasarnya adalah pengambilan barang dilakukan oleh seorang petugas atau *picker* dengan mengambil barang pesanan satu persatu sesuai dengan rincian pesanan mengikuti rute tertentu hingga seluruh produk yang dipesan terkumpul dan siap dikirimkan (Piasecki, 2012). Petugas atau *picker* melakukan pengambilan barang disertai dengan adanya dokumen pendukung berupa *delivery order* atau daftar rincian pesanan, di mana dokumen ini harus sudah diurutkan berdasarkan urutan pengambilan oleh *picker*. Metode ini cocok untuk sistem dengan jumlah order kecil, namun jumlah *item* produk per ordernya cenderung besar. Apabila metode ini digunakan untuk memenuhi permintaan dengan jumlah order besar, maka dibutuhkan banyak *picker* dalam melakukan pengambilan barang. Hal ini berpotensi memperlambat proses pengambilan barang dikarenakan banyaknya petugas yang berlalu-lalang pada area gudang. Sedangkan apabila metode ini digunakan untuk memenuhi order dengan jumlah *item* produk per order kecil, maka utilitas *picker* menjadi lebih kecil.

- *Batch Picking*

Metode pengambilan barang dengan *batch picking* ini dilakukan dengan menggabungkan beberapa order untuk dilakukan pengambilan barang dalam satu kali jalan. Seorang *picker* akan mengambil barang untuk beberapa order yang telah ditentukan. Metode ini cocok untuk pemenuhan order dengan jumlah order banyak namun jumlah *item* produk per order cenderung kecil. Metode ini biasanya digunakan dengan menggabungkan 4-12 order untuk satu kali pengambilan, namun hal ini juga tergantung dengan rata-rata jumlah *item* produk per ordernya (Piasecki, 2012). Metode ini memerlukan sistem dan prosedur yang mendukung untuk menghindari adanya *error* seperti tertukarnya barang antar order. Metode *batch picking* ini biasanya berhubungan dengan metode *zone picking* (yang akan dijelaskan selanjutnya) dan dengan peralatan *material handling* terotomasi.

- *Zone Picking*

Metode *zone picking* ini merupakan metode pengambilan barang pada gudang berdasarkan urutan zona atau area penyimpanan barang. Zona penyimpanan barang tersebut sudah diklasifikasikan berdasarkan karakteristik produk tertentu. Seorang petugas atau *picker* akan mengambil barang pesanan dari zona atau area tertentu dan hanya boleh mengambil barang dari zona tersebut saja (Piasecki, 2012). Barang pesanan akan berjalan dari zona yang satu ke zona yang lain ketika barang dari zona sebelumnya telah diambil. Metode ini cocok untuk gudang dengan jumlah SKU tinggi, jumlah order tinggi, dan jumlah item produk per order cenderung kecil dan menengah (Piasecki, 2012).

- *Wave Picking*

Metode *wave picking* merupakan metode kombinasi dari *batch picking* dan *zone picking*. Cara kerja metode ini adalah barang di semua zona diambil dalam waktu yang sama, kemudian barang-barang tersebut disortir dan dikonsolidasi untuk order atau pesanan secara individual untuk siap dikirim (Piasecki, 2012). Pada metode ini dibutuhkan lebih banyak petugas atau *picker* yang bertanggung jawab pada masing-masing zona penyimpanan barang. Menurut Piasecki, metode ini merupakan metode pengambilan barang dengan *cycle time* terpendek, di mana metode ini cocok untuk jumlah SKU besar dan jumlah *item* produk per ordernya cenderung tinggi.

2.1.3 *Order Picking Cycle Time*

Proses pengambilan barang atau *order picking* dimulai sejak dokumen order (biasanya berupa DO atau *delivery order*) berada di tangan *picker*, perjalanan *picker* menuju area penyimpanan barang, pencarian barang, *loading* barang pada alat *material handling* tertentu, perjalanan kembali ke tempat semula atau ke area *outbound* (Jorge et al., 2012). Ketika barang dalam kondisi siap untuk dikirim maka proses *order picking* berakhir. Pan & Wu tahun 2012 menjelaskan bahwa komponen *order picking cycle time* terdiri dari waktu *setup*, waktu *unloading*, waktu perjalanan atau *travel time*, dan waktu servis. Berikut ini adalah persamaan

yang digunakan untuk menghitung *order picking cycle time* menurut Pan & Wu tahun 2012.

$$R = t_s + t_u + w/v + \sum_{i=1}^m T_i \quad (2.1)$$

Di mana

R = *order cycle time* untuk satu order

t_s = waktu setup per order

t_u = waktu *unloading*

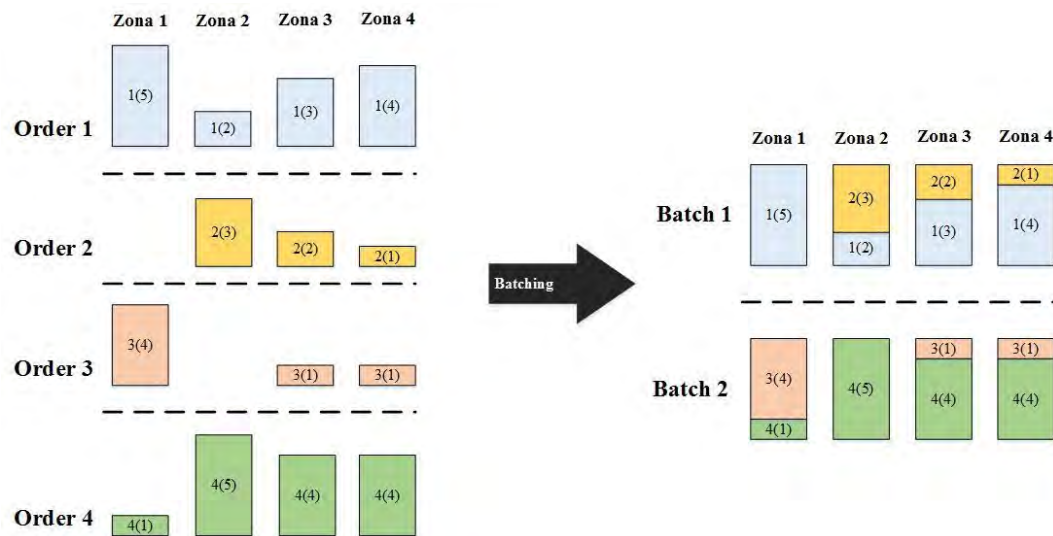
w/v = waktu perjalanan atau *travel time*

T_i = waktu servis dan waktu tunggu pada *aisle* i

m = banyaknya *aisle* yang dilalui dalam proses *order picking*

2.1.4 Order Batching

Order batching merupakan salah satu kebijakan yang diterapkan dalam sistem *order picking*. *Order batching* memungkinkan adanya konsolidasi beberapa order untuk diambil dalam waktu yang sama oleh *picker* yang sama. Dalam jurnalnya mengenai *order batching* untuk *order picking* tahun 2015, Pan dkk., menyebutkan bahwa hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan *order batching* adalah jumlah zona pengambilan yang akan dikunjungi, jumlah order, kapasitas *batch*, dan beban kerja dari tiap-tiap zona pengambilan. Tujuan adanya *order batching* ini adalah untuk memperpendek jarak yang harus ditempuh oleh *picker*, dan juga untuk menyeimbangkan beban kerja atau *workload* dari masing-masing zona pengambilan (Pan et al., 2015). Berikut ini adalah skema *order batching* menurut Pan dkk. tahun 2015.



Gambar 2. 2 Skema *Order Batching* (Pan et al., 2015)

2.2 Simulasi

Dalam subbab ini dijelaskan mengenai beberapa landasan teori terkait dengan simulasi. Poin-poin yang disajikan adalah mengenai sistem dan pemodelan sistem serta penjelasan terkait simulasi dengan menggunakan *software* ARENA.

2.2.1 Sistem dan Pemodelan

Model merupakan tiruan representasi dari suatu sistem yang kompleks dengan tujuan untuk pengukuran performansi sistem yang dimodelkan tersebut (Alitok & Melamed, 2007). Dalam pembangunan model suatu sistem, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi Permasalahan

Dalam identifikasi permasalahan, dilakukan pengumpulan informasi terkait sistem yang diamati sebanyak mungkin. Hal ini sangat penting agar simulasi yang dikembangkan selanjutnya dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya. Proses-proses dalam tahap ini meliputi identifikasi *input* permasalahan, parameter pengukuran performansi sistem, hubungan antar parameter dan variabel, dan lain sebagainya (Alitok & Melamed, 2007).

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk mengestimasi *input parameter* dari model yang akan dikembangkan (Alitok & Melamed, 2007). Pengumpulan data juga penting untuk proses validasi model yang akan dibangun.

3. Pembangunan Model

Setelah permasalahan benar-benar teridentifikasi dan semua data telah terkumpul, langkah selanjutnya adalah membangun model sesuai dengan sistem yang diamati. Pembangunan model ini dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi seperti Arena, Promodel, GPSS, dan lain sebagainya.

4. Verifikasi dan Validasi

Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dibangun sudah merepresentasikan model konseptual dari sistem yang diamati (Alitok & Melamed, 2007). Sedangkan validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dibangun sudah merepresentasikan sistem pada keadaan nyata.

5. Pengembangan Percobaan Simulasi

Bila model telah terverifikasi dan valid, maka selanjutnya bisa dilakukan percobaan simulasi dengan skenario-skenario tertentu. Hal ini dilakukan untuk mengamati perubahan perilaku sistem dan juga bertujuan untuk mengatasi permasalahan pada sistem yang diamati (Alitok & Melamed, 2007).

6. Analisis Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil percobaan beberapa skenario yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan analisis hasil simulasi berdasarkan hasil atau *output* yang dihasilkan oleh percobaan simulasi sebelumnya. Selanjutnya dilakukan pemilihan skenario terbaik berdasarkan parameter pengukuran yang dikehendaki oleh pengamat.

7. Rekomendasi Penyelesaian

Langkah terakhir adalah dengan memberikan rekomendasi solusi permasalahan pada sistem yang diamati berdasarkan analisis hasil simulasi yang telah dilakukan.

2.2.2 Simulasi dengan ARENA

ARENA merupakan salah satu *tool* yang digunakan untuk membangun model simulasi. Dalam penelitian ini digunakan *software* ARENA untuk mengembangkan model simulasi sistem *order picking*. Dalam membangun simulasi dengan *software* ARENA, dilakukan beberapa langkah berikut ini.

1. Melakukan pengumpulan data
2. *Fitting* distribusi data yang dikumpulkan
3. Membangun model simulasi dengan *software* ARENA sesuai dengan kondisi eksisting
4. *Input* data hasil *fitting* distribusi ke dalam model simulasi
5. Melakukan *running* model simulasi
6. Melakukan verifikasi dan validasi model simulasi terhadap model konseptual dan data pada kondisi eksisting

2.3 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang digunakan penulis sebagai referensi dalam membangun penelitian ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

	Penelitian Terdahulu			Penelitian Ini
Tahun	2012	2016	2016	2016
Tipe	Jurnal	Penelitian Tugas Akhir	Penelitian Tugas Akhir	Penelitian Tugas Akhir
Penulis	Joao Jorge, Z. Kokkinogenis, Rosaldo Rosetti, Manuel Marques	Wahyu Setyo Nugroho	Anastasia Rosarianti S.	Elsa Winanda Rezky
Judul	<i>Simulation of an Order Picking System in Pharmaceutical Warehouse</i>	<i>Simulation Study of Storage Allocation in Warehouse Under Uncertain Demand</i>	<i>Simulation Study of Multi-level Warehousing System to Accomodate Seasonal Demand of Footwear Products</i>	<i>Simulasi Order Picking pada Gudang Pusat Distribusi untuk Meminimasi Order Cycle Time</i>

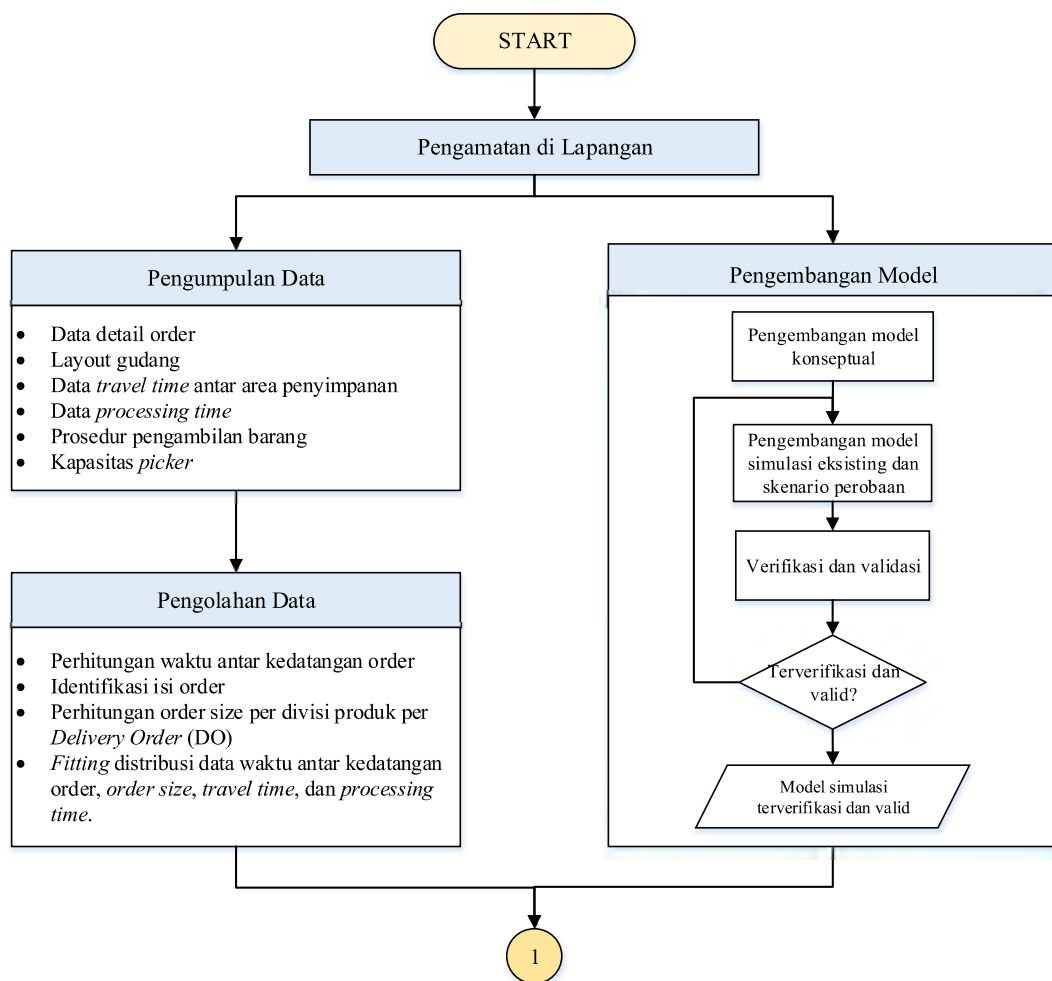
	Penelitian Terdahulu			Penelitian Ini
Objek	Produk obat-obatan	Produk alas kaki dengan permintaan musiman	Produk alas kaki dengan permintaan musiman	Produk alas kaki dengan permintaan musiman
Metode	Simulasi berbasis agen (<i>agent-based</i>) dengan NetLogo	Simulasi dengan ARENA	Simulasi dengan ARENA	Simulasi dengan ARENA
Output	Penjadwalan tenaga kerja yang terlibat dalam aktivitas <i>order picking</i>	Alokasi penyimpanan dengan mempertimbangkan <i>order fill rate</i> dan tingkat utilisasi <i>storage</i> .	Skenario terbaik dari sistem multi-level warehousing dengan memanfaatkan gudang pendukung untuk mengurangi sisa persediaan di akhir umur produk	Jumlah <i>picker</i> dan strategi <i>picking</i> yang paling meminimumkan <i>order cycle time</i>
Parameter	<i>Pick rate, Effective Process Time (EPT)</i>	<i>Order fill rate, storage utilization</i>	<i>Cycle time, fill rate, forecast error</i>	<i>Order cycle time</i>

(Sumber: Jorge et al., 2012; Nugroho, 2016; Suryo, 2016)

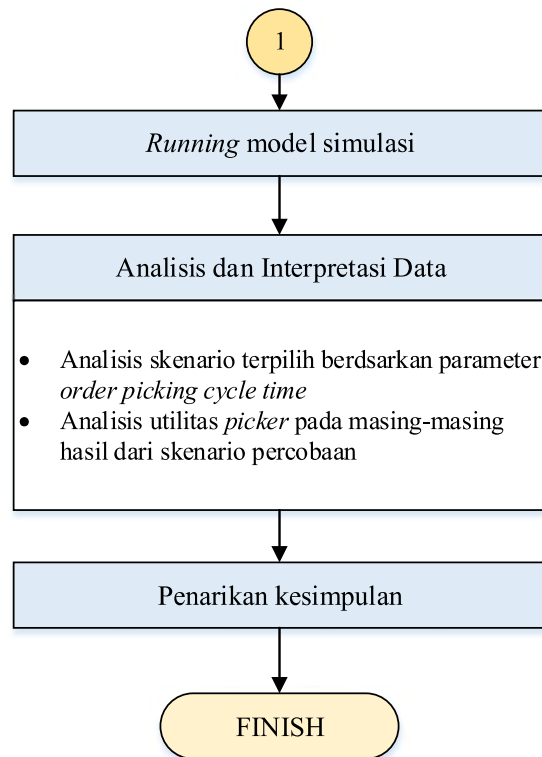
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 ini dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang dilakukan oleh penulis. Secara garis besar, metodologi penelitian ini terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, pengembangan model, serta analisis dan intreprtasi hasil simulasi. Berikut ini merupakan diagram alir dari metodologi penelitian tersebut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)

Berikut ini akan disajikan penjelasan dari diagram alir pada Gambar 3.1 di atas untuk masing-masing langkah pengerjaan penelitian. Berikut ini adalah penjelasannya disajikan dalam subbab-subbab di bawah ini.

3.1 Pengamatan Lapangan dan Pengumpulan Data

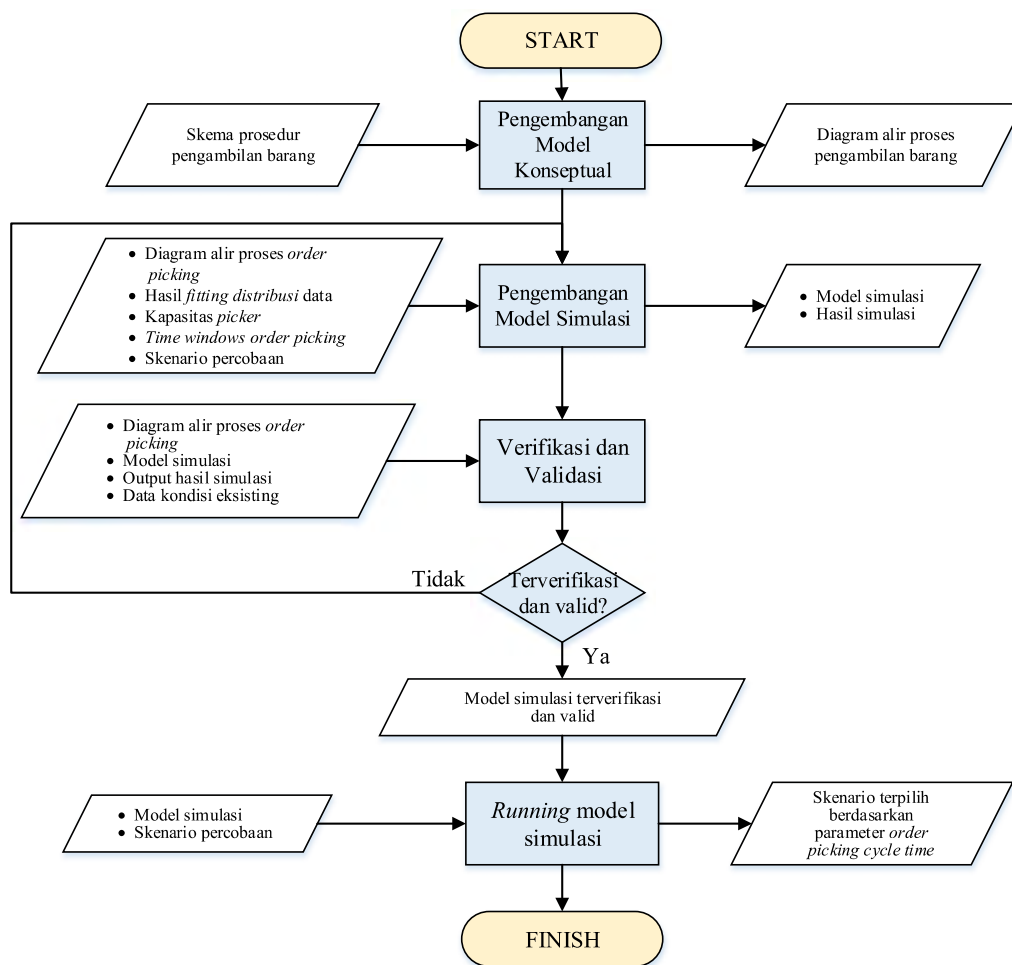
Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengamatan lapangan. Pengamatan lapangan dilakukan dengan mengamati cara kerja *picker*, mulai dari *Delivery Order* (DO) ada di tangan *picker* hingga barang siap dikirim. Data-data yang menjadi *input* dalam penelitian ini di antaranya adalah data rincian order, di mana data ini diperoleh dari pihak perusahaan untuk kurun waktu 20 bulan terakhir, dan data waktu *processing time* yang dilakukan dengan cara pengukuran langsung oleh penulis. *Travel time* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh *picker* untuk melintasi satu area ke area yang lain, sedangkan *processing time* merupakan waktu yang dibutuhkan *picker* dalam mencari barang dan juga termasuk di dalamnya terdapat waktu *loading*.

3.2 Pengolahan Data

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh, selanjutnya penulis melakukan pengolahan data. Pengolahan data ini dilakukan agar data mentah yang diperoleh dapat ditransformasikan ke dalam bentuk data yang dibutuhkan dalam pengembangan model simulasi. Data yang dibutuhkan dalam model simulasi adalah dalam bentuk distribusi probabilitas. Data-data hasil pengolahan data yang kemudian akan diproses dalam model simulasi di antaranya adalah data waktu antar kedatangan order, *order size* untuk tiap divisi produk, *travel time*, serta *processing time*.

3.3 Pengembangan Model

Dalam subbab ini akan dijelaskan mengenai pengembangan model yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pada dasarnya, pengembangan model pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, di antaranya adalah pengembangan model konseptual, pengembangan model simulasi dengan menggunakan *software* ARENA, verifikasi dan validasi, dan pengembangan skenario percobaan. Berikut ini adalah prosedur pengembangan model dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengembangan Model Simulasi

3.3.1 Pengembangan Model Konseptual

Berdasarkan data-data serta identifikasi permasalahan di lapangan yang telah dilakukan, langkah berikutnya adalah pengembangan model konseptual. Sebelum melangkah dalam tahap pembuatan model simulasi, terlebih dahulu dibuat model konseptual, di mana model konseptual ini merupakan kunci dari simulasi sebuah sistem.

Pada dasarnya, kegiatan *order picking* pada gudang akan dilakukan dengan syarat memiliki 3 kondisi berikut: ada order yang masuk, masih dalam jam kerja, dan *picker* tersedia. Bila tidak ada *order* yang masuk, maka kegiatan *order picking* tidak akan terjadi. Bila ada *order* yang masuk sudah bukan dalam jam kerja, maka proses *order picking* akan ditunda di hari berikutnya. Namun, bila ada *order* yang

masuk dan juga masih dalam jam kerja, namun *picker* tidak tersedia, maka *order* yang masuk tersebut akan ditahan hingga *picker* tersedia barulah kemudian dilakukan kegiatan *order picking*. Setelah *picker* tersedia, pengambilan barang dilakukan dengan memprioritaskan pengambilan barang pada area *broken*. Bila tidak tersedia, maka pengambilan barang baru boleh dilakukan pada area *full pallet*. Dalam hal ini, *picker* memiliki kapasitas dalam mengambil barang. Sehingga terdapat kemungkinan *picker* melakukan proses pengambilan lebih dari satu kali untuk satu *delivery order* atau DO. Sehingga *picker* akan terus melakukan pengambilan barang hingga seluruh barang yang terdaftar dalam DO telah terkumpul.

Model konseptual ini dijadikan acuan dalam membangun model simulasi. Dalam penelitian ini, penulis membangun model simulasi dengan menggunakan *software* ARENA. Diagram alir dari model konseptual ini akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

3.3.2 Pengembangan Model Simulasi

Berdasarkan model konseptual yang telah dibuat dan data-data yang telah diolah, selanjutnya dilakukan pengembangan model simulasi. Logika dalam mengembangkan model simulasi ini didasari oleh model konseptual dan kondisi aktual. Selanjutnya data-data yang telah diolah, di-*input* ke dalam model simulasi untuk memperoleh *output* yang dikehendaki dan dilanjutkan dengan proses verifikasi dan validasi.

Selain kondisi eksisting, dalam penelitian ini juga dikembangkan beberapa skenario percobaan terkait *order picking* pada gudang. Skenario yang dikembangkan adalah berkaitan dengan jumlah *picker* dan aturan penugasan *picker*. Berikut ini adalah penjelasan mengenai skenario-skenario percobaan yang disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 3. 1 Skenario Percobaan

Jumlah Picker	Jenis Picking	
	Serial Picking	Paralel Picking
2	Skenario 1	Skenario 5
3	Skenario 2	Skenario 6
4	Skenario 3	Skenario 7
5	Skenario 4	Skenario 8

Penelitian ini mencoba melakukan eksperimen dengan mensimulasikan sistem pengambilan barang pada gudang atau *order picking* dengan berbagai kombinasi antara jumlah *picker* dan strategi pengambilan barang seperti yang dijelaskan pada Tabel 3.1 di atas. Dalam kondisi eksisting, gudang pada PT X memiliki dua orang *picker*. Maka dalam pengembangan skenario ini ditentukan jumlah *picker* mulai dari dua orang (kondisi eksisting) hingga maksimal lima orang sesuai dengan jumlah area penyimpanan

Dari segi strategi penugasan *picker*, penulis mensimulasikan dua strategi *picking*, yaitu *serial picking* dan *parallel picking*. *Serial picking* memungkinkan seorang *picker* untuk melakukan kegiatan pengambilan barang di seluruh area penyimpanan, sedangkan pada sistem *parallel picking* memungkinkan satu orang *picker* hanya bertanggung jawab untuk satu area tertentu saja dan memungkinkan pengambilan barang secara paralel untuk satu DO pada masing-masing area yang diminta. Penulis melakukan percobaan ini untuk mengetahui pengaruh dari jumlah *picker* dan juga strategi penugasan *picker* ini terhadap waktu pemenuhan order atau *order fulfillment time*.

3.3.3 Verifikasi dan Validasi

Verifikasi merupakan tahap untuk memastikan model suatu sistem yang dibangun telah sesuai dengan model konseptual yang telah dirancang sebelumnya. Dalam tahap verifikasi ini penulis melakukannya dengan pengecekan secara manual, yaitu memastikan apakah logika-logika yang dibangun dalam model simulasi telah merepresentasikan sistem pada model konseptual. Proses verifikasi juga dilakukan dengan identifikasi *error* ketika model simulasi dijalankan. Bila

terdapat *error* maka model simulasi belum terverifikasi, sebaliknya jika tidak ada *error* maka model simulasi dianggap sudah terverifikasi.

Selanjutnya, tahap validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model simulasi yang dibangun telah merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Dalam penelitian ini, validasi dengan melakukan uji statistik berupa *t-test* atas data hasil simulasi dibandingkan dengan data pada kondisi eksisting.

3.4 Analisis dan Intrepretasi Hasil Simulasi

Setelah dilakukan simulasi dan pengembangan skenario percobaan, selanjutnya dilakukan analisis dan interpretasi hasil simulasi. Analisis ini akan membandingkan *output* antar skenario percobaan, di mana parameter perbandingan ini akan mengacu kepada *cycle time* pengambilan barang serta mempertimbangkan utilitas dari masing-masing *picker* untuk menentukan skenario terbaik.

BAB 4

PENGOLAHAN *INPUT* DAN PENGEMBANGAN MODEL

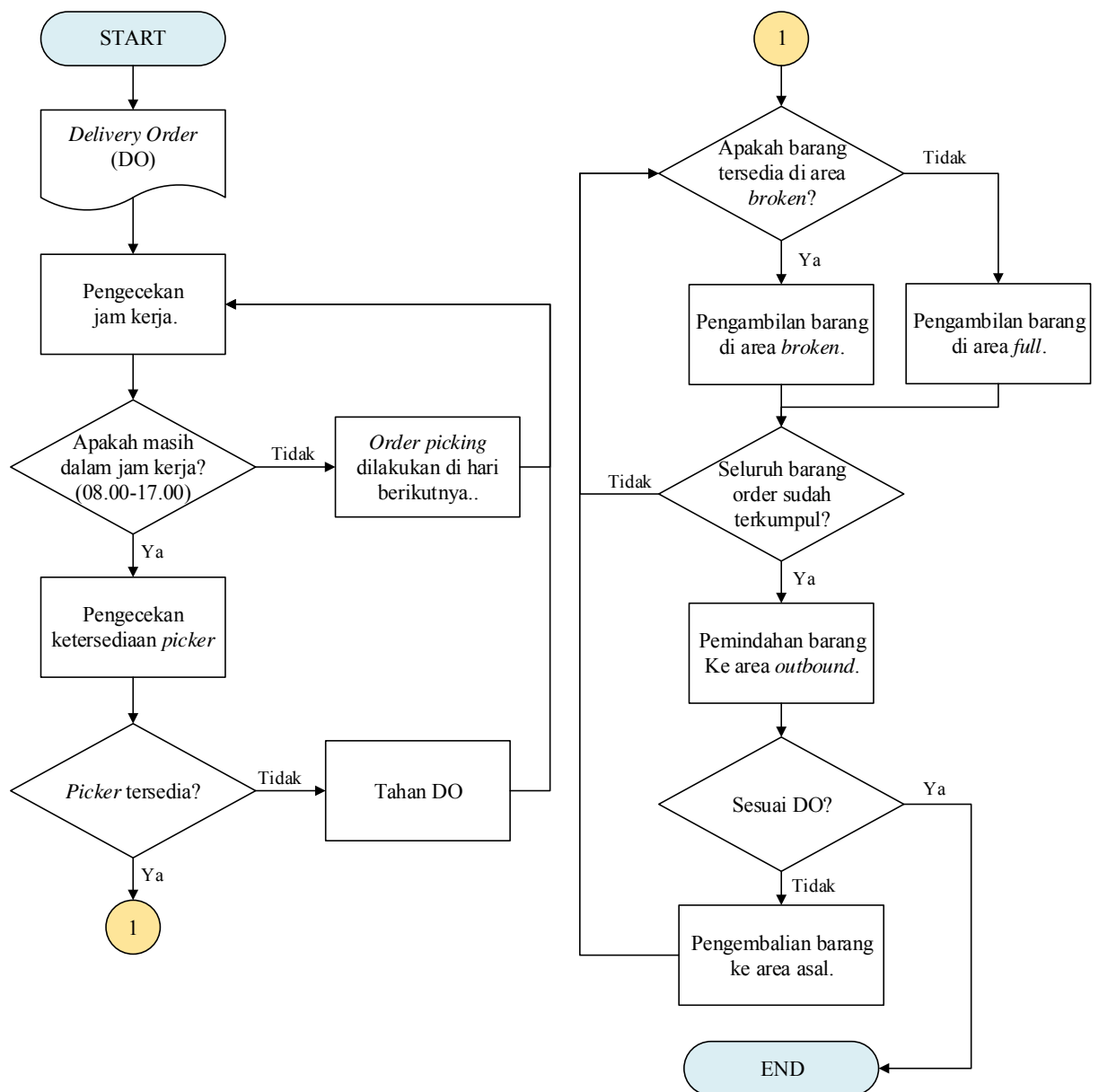
Bab ini terdiri dari penjelasan berbagai proses yang berkaitan dengan data-data yang telah dikumpulkan oleh penulis untuk kebutuhan pengembangan model simulasi. Proses-proses yang terkait di antaranya adalah pengumpulan data, pengolahan data atau *input*, serta pengembangan model simulasi.

4.1 Pengumpulan Data

Pada subbab ini dijelaskan mengenai data-data yang dikumpulkan oleh penulis. Data-data tersebut di antaranya adalah data prosedur *order picking* eksisting, data detail order, data pembagian alamat rak penyimpanan barang, *layout* gudang, dan *processing time* pengambilan barang.

4.1.1 Prosedur Order Picking Eksisting

Penulis melakukan pengamatan secara langsung dan juga wawancara dengan pihak gudang untuk memperoleh data prosedur *order picking* pada kondisi eksisting ini. Pentingnya data prosedur *order picking* pada kondisi eksisting ini adalah sebagai model konseptual yang digunakan untuk pengembangan model simulasi. Prosedur *order picking* ini meliputi alur teknis pengambilan barang pada gudang dan regulasi pengambilan, yaitu seperti aturan penugasan *picker* dan kapasitas pengambilan.



Gambar 4. 1 Diagram Alir Prosedur Pengambilan Barang

Pada dasarnya, kegiatan *order picking* pada gudang akan dilakukan dengan syarat memiliki 3 kondisi berikut: ada order yang masuk, masih dalam jam kerja, dan *picker* tersedia. Bila tidak ada *order* yang masuk, maka kegiatan *order picking* tidak akan terjadi. Bila ada *order* yang masuk sudah bukan dalam jam kerja, maka proses *order picking* akan ditunda di hari berikutnya. Namun, bila ada *order* yang masuk dan juga masih dalam jam kerja, namun *picker* tidak tersedia, maka *order* yang masuk tersebut akan ditahan hingga *picker* tersedia barulah kemudian

dilakukan kegiatan *order picking*. Setelah *picker* tersedia, pengambilan barang dilakukan dengan memprioritaskan pengambilan barang pada area *broken*. Bila tidak tersedia, maka pengambilan barang baru boleh dilakukan pada area *full pallet*. Dalam hal ini, *picker* memiliki kapasitas dalam mengambil barang. Sehingga terdapat kemungkinan *picker* melakukan proses pengambilan lebih dari satu kali untuk satu *delivery order* atau DO. Sehingga *picker* akan terus melakukan pengambilan barang hingga seluruh barang yang terdaftar dalam DO telah terkumpul. Langkah selanjutnya adalah membawa barang yang telah diambil menuju *outbound area* untuk dilakukan inspeksi oleh *checker*. Bila barang sesuai, maka proses pengambilan barang berakhir. Bila tidak sesuai, maka *picker* harus mengembalikan barang ke tempat asalnya dan melakukan proses pengambilan barang kembali. Hal ini dilakukan hingga pengambilan barang lolos inspeksi.

Sehingga dalam hal ini entitas dalam sistem adalah berupa DO atau *delivery order*, *resource* berupa petugas pengambil barang atau *picker*, dengan *control variable* berupa sistem penugasan *picker* yang diterapkan, *decision variable* berupa jumlah *picker* yang ada dalam sistem, serta *response variable* berupa *order cycle time*.

4.1.2 Data Detail Order

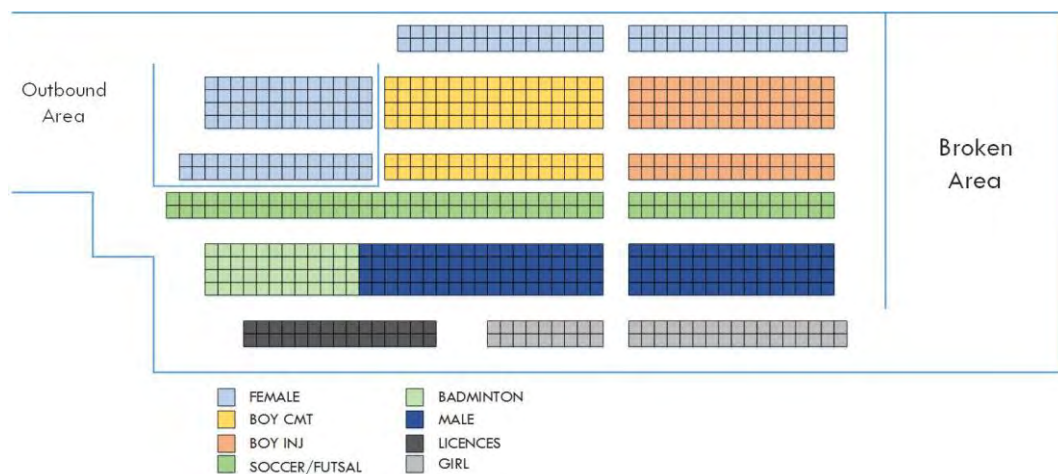
Data detail order terdiri dari detail pesanan barang oleh pelanggan. Order dari pelanggan masuk ke gudang PT X dalam bentuk DO atau *delivery order* yang berisi detail nama barang dan juga kuantitas pesanan. Data detail order diperoleh untuk mengidentifikasi apa saja isi tiap-tiap DO dari pelanggan serta identifikasi kapan DO tersebut masuk dan kapan DO tersebut terpenuhi. Data detail order yang diperoleh merupakan data selama 20 bulan, yaitu bulan November 2014 hingga Oktober 2015.

4.1.3 Data Alamat Rak Penyimpanan

PT X menggunakan sistem alamat untuk penyimpanan barang pada rak-rak di gudangnya. Alamat rak menunjukkan barang yang dicari ada pada rak blok apa dan nomor berapa. Penulis membutuhkan data tersebut untuk mengidentifikasi area penyimpanan barang-barang yang diminta pada data DO yang telah diperoleh.

4.1.4 Layout Gudang

Layout gudang menggambarkan tata letak rak penyimpanan barang pada gudang. Data ini akan membantu penulis dalam mengidentifikasi lokasi penyimpanan barang dalam tiap DO, disesuaikan dengan data alamat rak penyimpanan sebelumnya. Layout gudang ini juga menggambarkan dimensi gudang dan rak-rak penyimpanan sehingga data ini dapat membantu penulis mengidentifikasi jarak yang harus tempuh oleh *picker*. Berikut ini adalah peta *layout* gudang yang diperoleh dari PT X.



Gambar 4. 2 *Layout Gudang*

4.1.5 Data Processing Time

Processing time merupakan waktu yang dibutuhkan *picker* untuk mencari, mengambil, serta *loading* barang-barang yang di ambil ke dalam *forklift*. Data ini dikumpulkan oleh penulis dengan metode *time study*, yaitu pengukuran secara langsung di lapangan.

4.2 Pengolahan Data

Setelah data-data yang dibutuhkan telah terkumpul, selanjutnya dilakukan pengolahan data. Pengolahan data ini dilakukan untuk menghasilkan data yang diperlukan untuk di-*input* dalam model simulasi. Pengolahan data yang dilakukan di antaranya adalah identifikasi waktu antar kedatangan order, pembagian area

picking, identifikasi isi order, identifikasi kuantitas order, perhitungan *travel time* antar area *picking*, serta *fitting* distribusi data.

4.2.1 Waktu Antar Kedatangan Order

Waktu antar kedatangan order ini diidentifikasi dari data detail order yang telah diperoleh dari PT X. Waktu antar kedatangan order diperoleh dengan mengurangi waktu kedatangan order pada periode $n+1$ dikurangi dengan waktu kedatangan order pada periode sebelumnya yaitu pada periode n . Diperoleh waktu antar kedatangan order sebagai berikut.

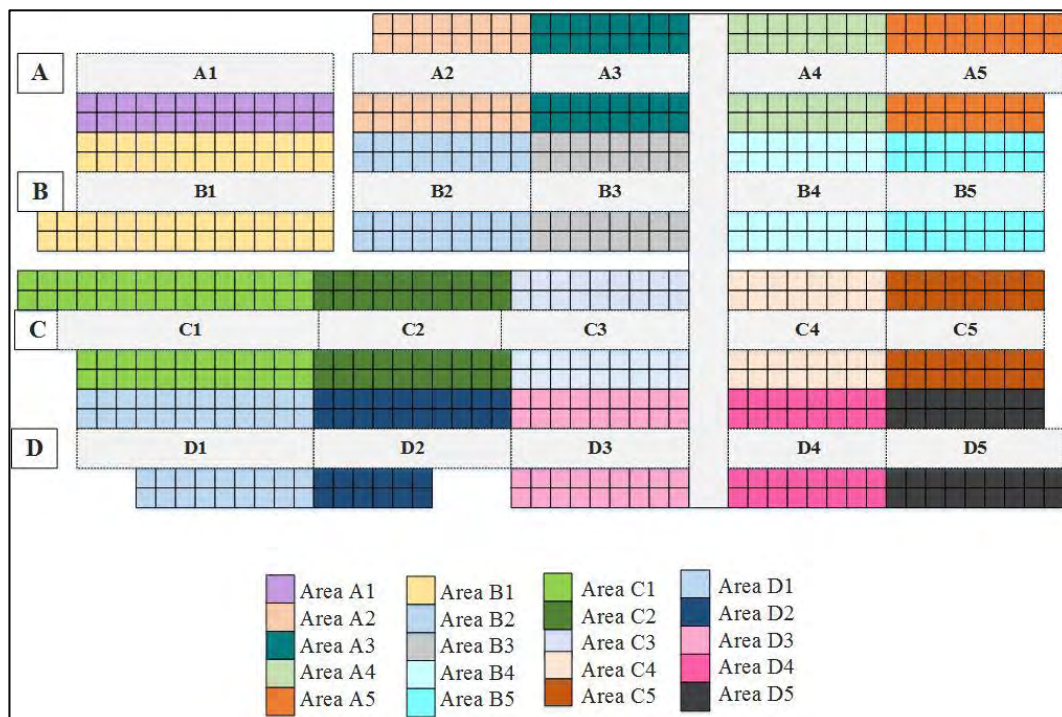
Tabel 4. 1 Waktu Antar Kedatangan Order

No	DO ID	<i>Interarrival Time</i> (menit)
1	NR9-1411-000001	
2	NR9-1411-000002	0,302
3	ND3-1411-000004	20,231
4	ND3-1411-000003	0,068
5	ND3-1411-000002	0,086
6	ND3-1411-000001	0,084
7	NJ9-1411-000002	42,342
8	NJ9-1411-000001	0,067
9	NI2-1411-000003	15,190
10	NI2-1411-000002	0,174
...
8376	NJ7-1412-000036	9969,561
8377	NJ7-1412-000035	0,121
8378	NS3-1412-000299	48962,867
8379	NS3-1412-000298	0,038
8380	NS3-1412-000297	0,043
8381	NS3-1412-000296	0,120
8382	NS3-1412-000295	0,058
8383	NS3-1412-000294	0,053
8384	NS3-1412-000301	7,593
8385	NS3-1412-000300	0,042

(Sumber: Hasil olahan penulis, 2016)

4.2.2 Pembagian Area Picking

Berdasarkan *layout* gudang dan data alamat penempatan barang yang telah diperoleh dari PT X, penulis melakukan pembagian area *picking*. Seperti yang digambarkan pada Gambar 4.2, gudang pada PT X dibagi menjadi enam blok rak penyimpanan dan memiliki empat *aisle* untuk keenam blok tersebut. Penulis melakukan pembagian area *picking* berdasarkan *aisle* tersebut. Keempat *aisle* yang ada dibagi menjadi *aisle* A, B, C, dan D. *Aisle* A diperuntukkan untuk pengambilan pada rak blok A dan blok B, *aisle* B untuk rak blok B dan blok C, *aisle* C untuk rak blok D dan blok E, dan *aisle* D untuk rak blok E dan blok F. Masing-masing *aisle* dibagi menjadi 5 area, yaitu untuk *aisle* A terdiri dari area A1, A2, A3, dan seterusnya.



Gambar 4. 3 Pembagian Area *Picking*

Berikut ini adalah hasil pembagian area yang telah dilakukan oleh penulis beserta nomor area masing-masing. Adanya nomor area bertujuan untuk mempermudah identifikasi area pada model simulasi.

Tabel 4. 2 Pembagian Area *Picking*

Area	No Area	Area	No Area
A1	1	C2	12
A2	2	C3	13
A3	3	C4	14
A4	4	C5	15
A5	5	D1	16
B1	6	D2	17
B2	7	D3	18
B3	8	D4	19
B4	9	D5	20
B5	10	<i>Broken</i>	21
C1	11	<i>Outbound</i>	22

(Sumber: Hasil olahan penulis, 2016)

4.2.3 Identifikasi Isi Order

Berdasarkan pembagian area yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan identifikasi isi order. Yang dimaksud dengan isi order adalah area mana saja yang harus dikunjungi oleh *picker* berdasarkan DO yang ada. Hal ini memunculkan adanya kombinasi-kombinasi isi order yang memungkinkan. Dengan 20 area *picking* yang telah ditentukan sebelumnya, ditemukan 563 kombinasi isi order yang memungkinkan berdasarkan data order histori. Kombinasi-kombinasi yang ada tersebut selanjutnya dilakukan identifikasi probabilitas kejadian berdasarkan frekuensi kejadian untuk masing-masing kombinasi. Setelah diurutkan berdasarkan probabilitas kejadian terbesar, penulis menemukan bahwa 200 kombinasi yang ada telah merepresentasikan 99,23% dari keseluruhan kombinasi. Sehingga untuk tujuan penyederhanaan model simulasi, penulis menggunakan 200 kombinasi isi order tersebut.

Data hasil identifikasi isi order inilah yang dijadikan *trigger* dalam model simulasi, yaitu untuk menentukan area mana saja yang harus dikunjungi oleh *picker* untuk mengambil barang berdasarkan DO yang ada. Berikut adalah data hasil identifikasi isi order yang kemudian digunakan sebagai input dalam model simulasi.

Tabel 4. 3 Hasil Identifikasi Isi Order

No	Kombinasi Area	Frek	Prob	Jumlah Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
1	18	8565	11.95%	1	18								
2	14	7142	9.97%	1	14								
3	17	6097	8.51%	1	17								
4	20	4868	6.79%	1	20								
5	12	4444	6.20%	1	12								
6	11	4253	5.93%	1	11								
7	13	3468	4.84%	1	13								
8	9	3418	4.77%	1	9								
9	4	3132	4.37%	1	4								
10	8	3004	4.19%	1	8								
...
191	3-11-12-13-15	5	0.01%	5	3	11	12	13	15				
192	10-12-16-17-18-20	106	0.15%	6	10	12	16	17	18	20			
193	10-12-14-16-17-18	49	0.07%	6	10	12	14	16	17	18			
194	11-14-15-17-18-20	5	0.01%	6	11	14	15	17	18	20			
195	5-11-14-17-18-20	5	0.01%	6	5	11	14	17	18	20			
196	5-14-15-17-18-20	5	0.01%	6	5	14	15	17	18	20			
197	10-12-14-16-17-18-20	11	0.02%	7	10	12	14	16	17	18	20		
198	10-11-12-14-17-18-20	8	0.01%	7	10	11	12	14	17	18	20		
199	10-11-12-14-15-17-18-20	11	0.02%	8	10	11	12	14	15	17	18	20	
200	5-10-11-12-14-15-17-18-20	5	0.01%	9	5	10	11	12	14	15	17	18	20

(Sumber: Hasil olahan penulis, 2016)

4.2.4 *Identifikasi Kuantitas Order*

Penulis telah memperoleh data detail order di mana salah satu data yang termasuk di dalamnya adalah data kuantitas order. Data yang diperoleh merupakan data kuantitas order per DO per item. Sehingga dalam hal ini penulis mengidentifikasi kuantitas order berdasarkan area item barang tersebut disimpan berdasarkan segmentasi area *picking*.

Tabel 4. 4 Data Kuantitas Order

No	DO ID	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5
1	NA5-1411-000001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0
2	NA5-1411-000002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
3	NA5-1411-000003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0
4	NA5-1411-000004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0
5	NA5-1411-000005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
6	NA5-1411-000006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
7	NA5-1411-000007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
8	NA5-1411-000008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0
9	NA5-1411-000009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0
10	NA5-1411-000010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0
...
72207	NZ5-1510-000513	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	225	0	0	0
72208	NZ5-1510-000514	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72209	NZ5-1510-000515	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
72210	NZ5-1510-000516	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1
72211	NZ5-1510-000517	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72212	NZ5-1510-000518	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72213	NZ5-1510-000519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
72214	NZ5-1510-000520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0
72215	NZ5-1510-000521	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
72216	NZ5-1510-000522	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0

(Sumber: PT X, 2015)

4.2.5 Perhitungan Travel Time

Travel time atau waktu perjalanan antar area yang satu dengan yang lain dilakukan dengan mengidentifikasi panjang lintasan antar area dan kecepatan rata-rata dari alat *material handling* yang digunakan, yaitu *forklift*. Berdasarkan pengamatan di lapangan, *forklift* yang digunakan memiliki kecepatan sebesar 0,64 meter/detik. Hasil perhitungan *travel time* ini disajikan pada bagian Lampiran.

4.2.6 Fitting Distribusi Data

Fitting distribusi data dilakukan dengan menggunakan *software* Input Analyzer yang juga merupakan salah satu fitur dari *software* simulasi ARENA. *Fitting* distribusi ini diperlukan sebagai input dari model simulasi dengan menggunakan ARENA. *Fitting* distribusi ini dilakukan untuk data waktu antar kedatangan order, data *order size* atau kuantitas order, dan data *processing time*. Berikut ini merupakan hasil dari *fitting* distribusi dari data-data tersebut.

Tabel 4. 5 Hasil *Fitting* Distribusi Data

No	Jenis Data	Expression	Satuan
1	Waktu antar kedatangan order	EXPO (22)	menit
2	Waktu proses	EXPO (1.67)	menit
3	Kuantitas order segmen 1	0.5+EXPO (26.1)	dus
4	Kuantitas order segmen 2	EXPO (6.27)	dus
5	Kuantitas order segmen 3	0.5 + LOGN (23.3, 34.3)	dus
6	Kuantitas order segmen 4	NORM (27.7, 16.2)	dus
7	Kuantitas order segmen 5	NORM (11.2, 5.52)	dus
8	Kuantitas order segmen 6	NORM (9.96, 5.87)	dus
9	Kuantitas order segmen 7	0.999 + EXPO (39.4)	dus
10	Kuantitas order segmen 8	UNIF (14.5, 45.5)	dus
11	Kuantitas order segmen 9	0.5 + EXPO (12.8)	dus
12	Kuantitas order segmen 10	0.999 + EXPO (5.89)	dus
13	Kuantitas order segmen 11	0.999 + 365 * BETA (0.778, 3.24)	dus
14	Kuantitas order segmen 12	0.999 + LOGN (44.4, 169)	dus
15	Kuantitas order segmen 13	0.999 + LOGN (35, 82)	dus
16	Kuantitas order segmen 14	1.5 + EXPO (19.5)	dus
17	Kuantitas order segmen 15	0.999 + EXPO (23.8)	dus
18	Kuantitas order segmen 16	0.999 + WEIB (9.5, 0.545)	dus
19	Kuantitas order segmen 17	LOGN (22.6, 41.9)	dus
20	Kuantitas order segmen 18	LOGN (16.1, 42)	dus

No	Jenis Data	Expression	Satuan
21	Kuantitas order segmen 19	LOGN (12.6, 26.4)	dus
22	Kuantitas order segmen 20	LOGN (15.4, 40.7)	dus

4.3 Pengembangan Model Simulasi

Pada subbab ini dijelaskan mengenai pengembangan model simulasi yang dilakukan oleh penulis. Beberapa poin yang dibahas dalam subbab ini di antaranya adalah pengembangan model simulasi sistem *release DO*, pengembangan model simulasi sistem *batch picking*, pengembangan model simulasi sistem *wave picking*, dan pengembangan skenario percobaan.

4.3.1 Model Simulasi Sistem Release DO

Sistem *release DO* merupakan subsistem dari sistem *order picking*. Sistem ini menghasilkan *output* berupa detail DO atau *Delivery Order* yang memberikan informasi terkait area mana saja yang harus dikunjungi oleh *picker* serta kuantitas barang yang harus diambil pada masing masing area. Sistem ini menggunakan basis data kombinasi isi order serta kuantitas order yang telah ditentukan sebelumnya.

4.3.2 Model Simulasi Sistem Batch Picking (Eksisting)

Model simulasi sistem *batch picking* yang merupakan kondisi eksisting ini terdiri dari beberapa subsistem di dalamnya, yaitu sistem *batching order*, *routing picker*, *picking in broken area*, serta *picking in full area*. Masing-masing subsistem tersebut dijelaskan pada poin-poin berikut ini.

4.3.2.1 Model Simulasi Sistem Batching Order

Sistem *batching order* merupakan sistem penggabungan beberapa DO untuk kemudian dilakukan pengambilan barang secara bersamaan. Pada dasarnya aturan dari *batching DO* ini adalah untuk menggabungkan beberapa DO kecil, yakni yang kuantitas ordernya kurang dari kapasitas angkut *forklift* yaitu 40 dus. Sehingga beberapa DO kecil digabungkan hingga kuantitas pengambilannya maksimal berjumlah 40 dus, sehingga beberapa DO tersebut dapat dilakukan dalam satu kali pengambilan.

Untuk order dengan jumlah lebih dari 40 dus, dapat langsung diproses ke proses pengambilan, sehingga tidak perlu mengantri untuk dilakukan *batching*. Dalam model *batching*, ini juga mengakomodir kondisi di mana ketika kedua *picker* yang ada sedang dalam kondisi *idle*, maka seluruh DO yang mengantri pada proses *batching* dapat dirilis tanpa perlu menunggu DO lain datang dengan tujuan untuk memperpendek waktu tunggu *batch* dan meminimalisir waktu *idle* pada *picker*.

4.3.2.2 Model Simulasi Sistem *Routing Picker*

Sistem *routing picker* menghasilkan *output* berupa informasi terkait berapa jumlah area yang harus dikunjungi *picker*, area mana saja yang harus dikunjungi, serta kuantitas barang yang harus diambil pada masing-masing area untuk DO yang telah dilakukan *batching*.

4.3.2.3 Model Simulasi Sistem *Pick in Broken Area*

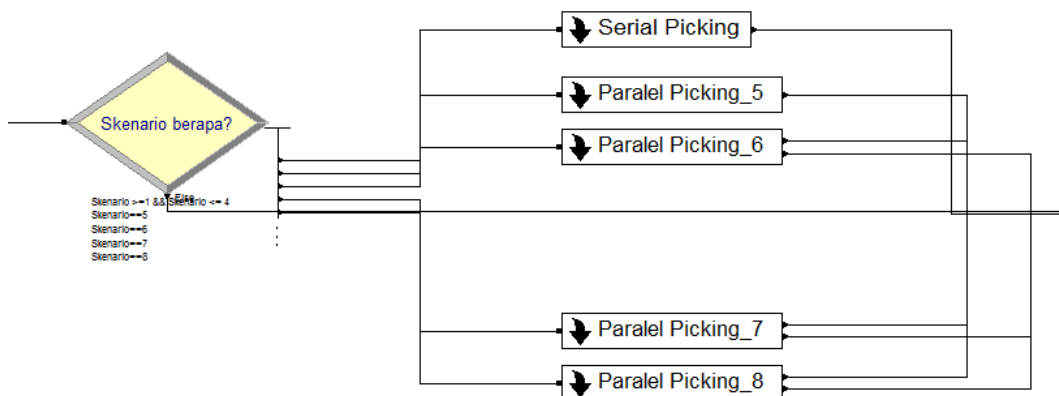
Sistem ini merupakan subsistem dari sistem *order picking* untuk pengambilan pada area *broken*. Seperti yang telah dijelaskan pada model konseptual sebelumnya, bahwa pengambilan barang dilakukan pada area *broken*.

4.3.2.4 Model Simulasi Sistem *Pick in Full Area*

Pada sistem ini menggambarkan proses pengambilan barang pada area *full* palet yang merupakan kelanjutan dari pengambilan pada area *broken* sebelumnya. Berikut ini merupakan gambaran model simulasi untuk sistem pengambilan pada area *full* palet.

4.3.3 *Skenario Percobaan*

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3 sebelumnya, bahwa pada penelitian ini dilakukan percobaan simulasi dengan skenario percobaan dua sistem penugasan *picker* yang berbeda, yaitu *serial picking* dan *parallel picking*, serta percobaan jumlah *picker*, yaitu dua, tiga, empat, dan lima, untuk masing-masing jenis penugasan *picker*. Gambar berikut merupakan model simulasi yang dikembangkan oleh penulis pada *software* ARENA untuk beberapa skenario percobaan yang dilakukan.



Gambar 4. 4 Model Skenario Percobaan

4.3.3.1 *Serial Picking*

Proses pengambilan barang dengan cara *serial picking* ini merupakan sistem yang digunakan pada kondisi eksisting. *Serial picking* ini memungkinkan seorang *picker* untuk mengambil barang di seluruh area gudang dan memungkinkan seorang *picker* untuk memproses lebih dari satu DO. Percobaan yang dilakukan adalah dengan mengubah jumlah *picker* yang ada pada sistem, yaitu dua, tiga, empat, dan lima *picker*. Sehingga terdapat empat skenario untuk sistem *serial picking*.

Perhitungan *order cycle time* pada skenario *serial picking* ini dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$CT = W_{TB} + W_{TP} + W_{TO} + W_T + W_P \quad (4.3)$$

Di mana,

CT = *order cycle time*

W_{TB} = waktu tunggu *batch* (waktu yang dibutuhkan untuk mengumpulkan beberapa DO dalam satu *batch*)

W_{TP} = waktu tunggu *picker* (waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh *picker* yang *available*)

W_{TO} = waktu tunggu buka (waktu yang dibutuhkan bila suatu DO belum selesai diproses dan harus menunggu hari berikutnya untuk diproses)

W_T = waktu *travel* (waktu yang dibutuhkan *picker* untuk berjalan ke area-area yang pada gudang sesuai dengan yang dibutuhkan)

W_P = waktu proses (waktu yang dibutuhkan untuk mengambil barang dari rak, termasuk di dalamnya waktu *loading* ke alat angkut)

Untuk sistem *serial picking*, terdapat komponen *cycle time* berupa waktu tunggu *batch*. Waktu tunggu *batch* ini merupakan waktu yang diperlukan untuk DO kecil terkumpul dalam satu *batch*, terhitung dari DO pertama dalam *batch* tersebut masuk ke dalam proses *batch* hingga DO yang telah di-*batch* dirilis. Sedangkan waktu tunggu *picker* merupakan waktu tunggu yang terjadi bila DO telah dalam kondisi siap diproses namun *picker* tidak tersedia, sehingga DO tersebut harus menunggu terhitung mulai DO dirilis hingga DO tersebut memperoleh *picker* yang *available*. Selanjutnya, waktu tunggu buka atau W_{TO} merupakan waktu tunggu yang terjadi apabila suatu DO telah diproses namun belum selesai dan harus dilanjutkan hingga hari selanjutnya. W_{TO} ini terjadi karena sistem yang memungkinkan untuk tetap menerima order meski telah mendekati akhir jam operasional, sehingga memungkinkan pula untuk order tersebut diproses di hari selanjutnya. Sedangkan waktu *travel* merupakan waktu yang dibutuhkan *picker* untuk melakukan perjalanan dari satu area ke area yang lain selama proses *order picking*. Dan yang terakhir merupakan waktu proses yang merupakan waktu yang dibutuhkan *picker* untuk mengambil barang dari rak, termasuk di dalamnya adalah waktu *loading* barang ke alat angkut.

4.3.3.2 *Paralel Picking*

Paralel picking merupakan salah satu sistem penugasan *picker* yang dipilih oleh penulis sebagai salah satu skenario percobaan. Sistem ini memungkinkan *picker* bertanggung jawab atas area-area tertentu saja dan satu orang *picker* hanya dapat memproses satu DO saja. Ketika suatu DO memiliki lebih dari satu area, maka sistem ini memungkinkan proses pengambilan secara bersamaan atau paralel tiap areanya. Sama seperti *serial picking*, bahwa percobaan juga dilakukan dengan mengubah jumlah *picker* yang bertugas dalam sistem yaitu dua hingga lima orang *picker*.

Perhitungan *order cycle time* pada skenario *paralel picking* ini dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$CT = W_{TP} + W_{TO} + W_T + W_P \quad (4.4)$$

Di mana,

CT = *order cycle time*

W_{TP} = waktu tunggu *picker* (waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh *picker* yang *available*)

W_{TO} = waktu tunggu buka (waktu yang dibutuhkan bila suatu DO belum selesai diproses dan harus menunggu hari berikutnya untuk diproses)

W_T = waktu *travel* (waktu yang dibutuhkan *picker* untuk berjalan ke area-area yang pada gudang sesuai dengan yang dibutuhkan)

W_P = waktu proses (waktu yang dibutuhkan untuk mengambil barang dari rak, termasuk di dalamnya waktu *loading* ke alat angkut)

Pada dasarnya, penjelasan mengenai komponen-komponen *cycle time* di atas adalah sama dengan sistem *serial picking*. Namun yang membedakan adalah bahwa pada sistem *paralel picking* tidak terdapat waktu tunggu *batch*, karena dalam sistem ini memungkinkan satu orang *picker* hanya memproses satu DO saja tanpa perlu adanya proses *batching*.

4.4 *Running Model Simulasi*

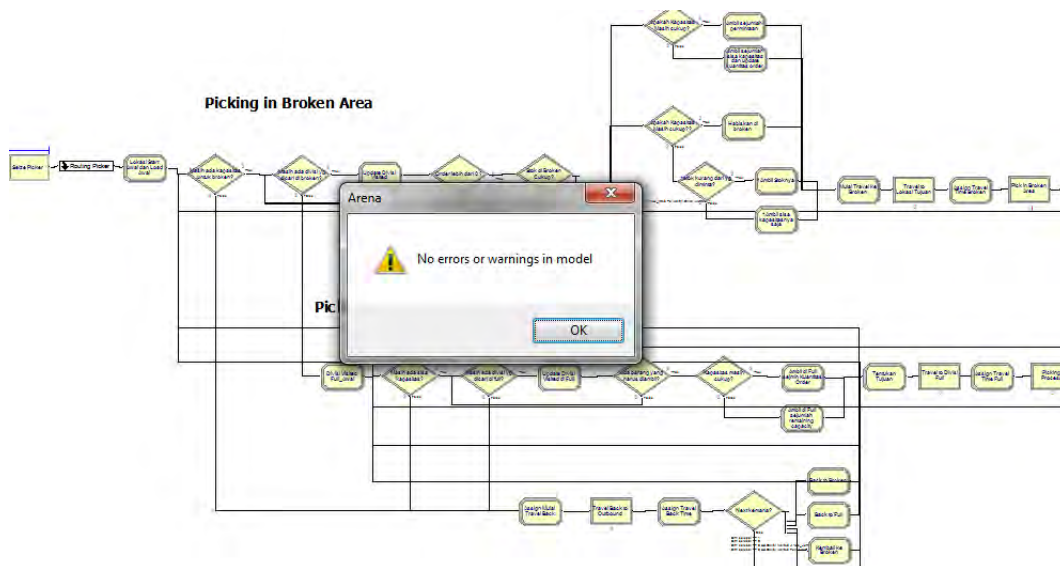
Dalam melakukan *running* model simulasi, penulis melakukan *running* dengan replikasi awal sebanyak lima replikasi. Sebelum dilakukan *running*, penulis melakukan pengamatan terhadap pergerakan stok pada area *broken*. Hal ini bertujuan untuk menentukan berapa lama *warm-up period* yang dibutuhkan. Setelah dilakukan pengamatan, diperoleh model simulasi yang ada memerlukan *warm-up period* selama 27 hari. *Running* model simulasi ini dilakukan selama 365 hari untuk satu replikasi, dengan jam kerja selama sembilan jam tiap harinya.

4.5 Verifikasi dan Validasi

Pada subbab ini dijelaskan mengenai verifikasi dan validasi model simulasi yang telah dilakukan oleh penulis.

4.5.1 Verifikasi

Proses verifikasi dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan pengecekan error secara komputerisasi yang disediakan oleh software ARENA, dan juga pengecekan secara manual. Berikut merupakan hasil pengecekan model error pada *software* ARENA.



Gambar 4. 5 Verifikasi dengan fitur *Model Check* pada ARENA

Berdasarkan verifikasi dengan model check pada ARENA, tidak ditemukan kesalahan atau *error* pada model. Hal ini berarti bahwa logika sistem simulasi yang telah dilakukan adalah benar dan terverifikasi. Namun proses verifikasi harus dilakukan lebih jauh untuk memastikan model simulasi yang dibangun benar-benar terverifikasi, yaitu dengan pengecekan secara manual berdasarkan parameter-parameter tertentu. Parameter penilaian ini akan berbeda-beda untuk masing-masing subsistem. Berikut adalah verifikasi yang dilakukan untuk subsistem-subsistem yang ada.

4.5.1.1 Verifikasi Model *Release* DO

Untuk model *release* DO, dilakukan verifikasi dengan meninjau parameter kode kombinasi isi order, jumlah area, area mana saja, serta berapa besar kuantitasnya.

Sebagai contoh, diperoleh bahwa DO yang masuk memiliki ID kombinasi nomor 23, memiliki 2 area pengambilan, yaitu Area 13 dan Area 14, dengan masing-masing besar order sebanyak 20 dan 10 dus. Hal ini membuktikan bahwa model *release* DO telah terverifikasi, karena ID kombinasi nomor 23 memang memiliki 2 area yaitu Area 13 dan Area 14 serta masing-masing area tersebut memiliki kuantitas order (tidak sama dengan nol).

4.5.1.2 Verifikasi Model *Batching* DO

Untuk model *batching* DO, parameter yang ditinjau untuk verifikasi adalah jumlah *order size* total, antrian di modul *hold*, serta antrian di modul *batch*.

Seperti yang digambarkan pada gambar di atas, bahwa *order size* total adalah 40, dan antrian di modul *hold* adalah 4 entitas. Setelah *order size* total telah mencapai 40, maka akan dilepas ke modul *batch*, sehingga antrian sementara pada modul *batch* adalah 4 entitas. Karena *order size* total telah mencapai 40, maka keempat DO tersebut di-*batch*, sehingga keempat entitas tersebut dilepas dari modul *batch* dan antrian di modul *batch* menjadi nol. Maka hal ini membuktikan bahwa model *batching* DO terverifikasi.

4.5.1.3 Verifikasi Model *Routing Picker*

Untuk model *routing picker*, verifikasi yang dilakukan adalah dengan meninjau parameter jumlah area, area apa saja yang dikunjungi, serta berapa kuantitas ordernya. Hal ini serupa dengan verifikasi yang dilakukan pada model *release* DO, namun dalam model *routing picker* ini yang diverifikasi merupakan entitas hasil *batching* DO.

Pada gambar di atas, diketahui bahwa DO hasil *batching* memiliki 3 area yaitu Area 4, Area 9, dan Area 13 dengan masing-masing kuantitas ordernya lebih dari nol.

Sehingga hal ini menjadi bukti bahwa model *routing picker* yang telah dibangun dianggap terverifikasi.

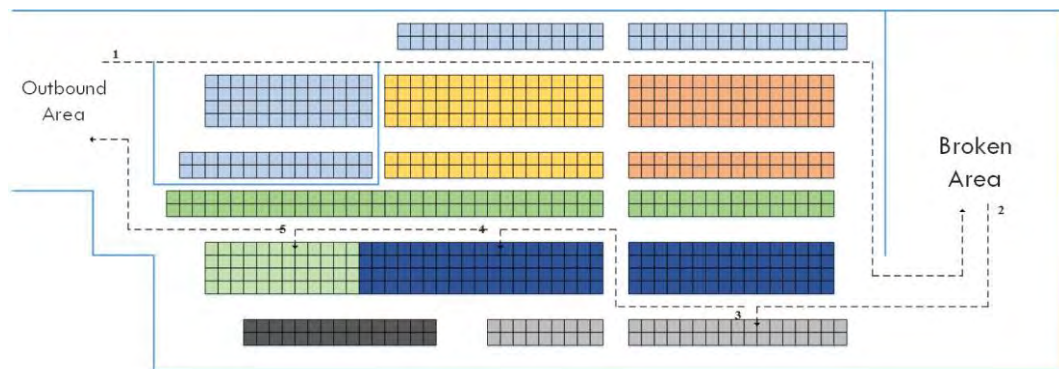
4.5.1.4 Verifikasi Model *Picking Process*

Untuk model *picking process*, parameter yang ditinjau untuk dilakukan verifikasi adalah stok *broken*, besar order, berapa yang diambil di area *broken* dan area *full*, lokasi tujuan, serta berapa muatan atau *load* yang dibawa.

Gambar di atas merupakan salah satu contoh proses verifikasi untuk model *picking process*. Diketahui bahwa besar order untuk Area 20 adalah 3 dus, dan pada area *broken* tidak memiliki stok barang dari Area 20 tersebut. Sehingga tidak dilakukan pengambilan barang pada area *broken*, melainkan di area *full*. Sehingga lokasi tujuannya adalah Area 20 dengan *load* sebesar yang diambil dan diminta, yaitu 3 dus.

Kemudian verifikasi terhadap model *picking process* ini juga dilakukan dengan pengecekan parameter *cycle time*. Di mana untuk *picking process* pada kondisi eksisting ini, komponen-komponen *cycle time* meliputi waktu tunggu *batch*, waktu tunggu *picker*, waktu tunggu buka, *travel time* baik di area *broken* maupun *full*, serta *processing time* baik di area *broken* maupun *full*.

Gambar di atas merupakan salah satu contoh verifikasi untuk model *picking process* dengan menggunakan parameter perhitungan *cycle time*. Gambar di atas menggambarkan DO nomor urut 15 memiliki waktu tunggu *picker* selama 15 menit. Selanjutnya, DO yang ada diproses untuk pengambilan di area *broken* dengan waktu tempuh selama dua menit dari area outbound serta waktu proses pengambilan pada area *broken* selama dua menit. Pengambilan juga dilakukan di area *full*, di mana total waktu tempuhnya adalah tujuh menit, dengan waktu proses selama empat menit. Waktu *travel* selama tujuh menit ini, memungkinkan adanya perjalanan dari satu area ke area yang lain dengan jumlah lebih dari satu area, begitu pula dengan *processing time* yang ada memungkinkan bahwa jumlah yang ada merupakan akumulasi dari beberapa *processing time* dari beberapa area yang berbeda. Rute perjalanan digambarkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 6 Gambaran Rute Perjalanan

DO nomor 15 ini tidak memiliki waktu tunggu *batch* karena jumlah kuantitas ordernya telah melebihi 40 dus, sehingga tidak perlu digabungkan dengan DO lain, dan juga DO nomor 15 ini dapat diselesaikan dalam jam kerja sehingga tidak memerlukan waktu tunggu buka. Dengan demikian, *order cycle time* untuk DO nomor 15 ini adalah 31 menit. Berdasarkan verifikasi dengan parameter kuantitas order dan *cycle time*, maka dapat dikatakan bahwa model *picking process* ini dianggap terverifikasi.

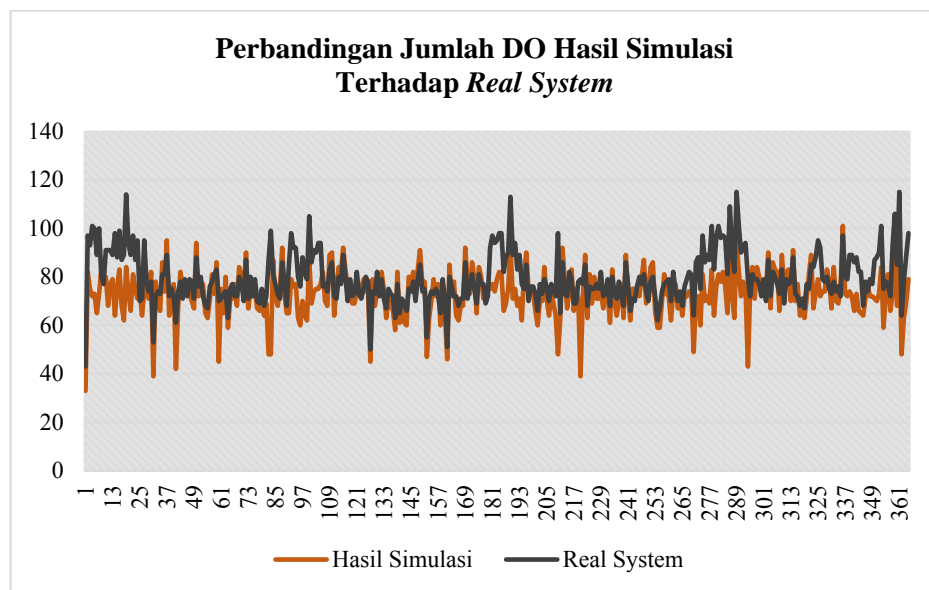
4.5.2 Validasi

Menyesuaikan dengan data yang dimiliki oleh penulis, validasi model simulasi dilakukan dengan membandingkan jumlah DO yang telah diproses dalam satu hari pada hasil simulasi terhadap *real system*. Berikut merupakan rekapan data yang digunakan untuk validasi.

Tabel 4. 6 Data Jumlah DO per Hari untuk Validasi

No	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5	Rata-rata	<i>Real System</i>
1	35	32	34	30	32	33	73
2	74	83	76	84	89	82	97
3	67	76	70	78	83	75	93
4	65	74	67	75	79	72	101
5	65	74	71	75	79	73	100
6	57	66	60	68	73	65	89
7	65	74	67	77	81	73	100
8	74	83	78	86	90	83	80
9	71	80	77	83	87	80	77
10	72	81	76	83	87	80	91
...
356	73	82	77	83	88	81	77
357	58	67	61	70	74	66	72
358	65	74	68	75	81	73	93
359	81	90	84	91	97	89	106
360	61	70	63	71	75	68	85
361	86	95	91	98	102	95	115
362	50	45	48	46	47	48	64
363	55	64	62	65	69	63	78
364	61	70	66	72	76	69	88
365	71	80	77	81	86	79	98

(Sumber: Hasil olahan penulis, 2016)



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Jumlah DO per Hari Antara Hasil Simulasi Terhadap Real System

Berdasarkan grafik yang digambarkan pada gambar tersebut, terlihat bahwa tidak terjadi perubahan yang cukup signifikan antara jumlah DO yang diproses dalam satu hari pada hasil simulasi dengan kondisi nyata. Untuk memperkuat validasi ini, dilakukan uji statistik dengan metode t-test dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1$$

$$H_1 : \mu_0 \neq \mu_1$$

Kemudian dilakukan uji statistik dengan metode t-test dengan menggunakan *software* Microsoft Excel dan diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Hasil Validasi dengan Uji Statistik T-test

	<i>Hasil Simulasi</i>	<i>Real System</i>
Mean	73,07417582	79,47802198
Variance	90,82919353	103,208882
Observations	364	364
Hypothesized Mean Difference	0	
df	723	
t Stat	-1,770979629	
P(T<=t) one-tail	6,3008E-18	
t Critical one-tail	1,646963911	
P(T<=t) two-tail	1,26016E-17	
t Critical two-tail	1,963250541	

Berdasarkan tabel hasil t-test di atas, diperoleh nilai t-stat adalah -1,77 dan nilai *t critical two-tail* adalah 1,96. Maka nilai t-stat < *t critical two-tail* dan t-stat > - *t critical two-tail*, sehingga hal ini berarti bahwa hipotesis nol (H_0) tidak ditolak. Maka tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil simulasi dengan sistem nyata sehingga model simulasi dianggap valid.

4.6 Penentuan Jumlah Replikasi

Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah replikasi. Replikasi awal yang dilakukan oleh penulis adalah sebanyak lima replikasi. Kemudian dilakukan perhitungan *half width* dengan rumus berikut ini.

$$hw = t_{n-1, \alpha/2} \times s / \sqrt{n} \quad (4.1)$$

Di mana,

hw = *half width*

n = jumlah replikasi awal

s = standar deviasi

Sehingga untuk model simulasi yang telah dibangun, perhitungan *half width* adalah sebagai berikut.

Dengan

$s = 10,99$

$n = 5$

$\alpha = 0,05$

$t_{4,0,025} = 2,77$

$hw = 2,77 \times 10,99 / \sqrt{5} = 13,62$

Dengan nilai *half width* sebesar 13,62 tersebut, diperoleh nilai *error* terhadap rata-rata (di mana rata-rata = 72,53) adalah sebesar 18,77%. Dalam hal ini penulis ingin menurunkan nilai *error* hingga 5%, sehingga *half width* untuk error 5% adalah sebesar 3,62.

Kemudian dilakukan perhitungan jumlah replikasi (n') dengan rumus berikut.

$$n' = (Z \times s / hw)^2 \quad (4.2)$$

Sehingga, jumlah replikasi (n') diperoleh sebagai berikut

$$n' = (1,96 \times 10,99 / 3,62)^2 = 35,28 \approx 36 \text{ replikasi}$$

Diperoleh bahwa jumlah replikasi hasil perhitungan lebih besar dari jumlah replikasi awal. Sehingga jumlah replikasi sebanyak 36 digunakan untuk melakukan *running* simulasi baik kondisi eksisting maupun skenario percobaan.

4.7 Hasil Simulasi

Pada subbab ini disajikan *output* hasil *running* simulasi *order picking* yang telah dilakukan. *Running* model simulasi dilakukan selama 365 hari atau satu tahun dengan lima kali replikasi. Menyesuaikan dengan kebutuhan analisis pada penelitian ini, data-data hasil simulasi yang dicatat meliputi rata-rata *order fulfillment time* atau *order cycle time* beserta nilai maksimalnya, persentase kontribusi komponen-komponen *order cycle time*, serta utilitas *picker* untuk masing-masing skenario yang telah dirancang. Berikut merupakan data-data hasil simulasi yang telah dicatat disajikan dalam tabel-tabel berikut ini.

Tabel 4. 8 Rekap Hasil Simulasi

Skenario	Jumlah Picker	Jenis Picking	Average CT (menit)	Max CT (menit)	Rata-rata Utilitas Picker	Aktivitas Paling Berpengaruh	Persentase Kontribusi Aktivitas
1	2	Seri	4528,38	12194,29	1	Menunggu <i>picker</i>	92,40%
2	3	Seri	149,18	1730,02	0,483	Menunggu <i>picker</i>	79,33%
3	4	Seri	104,94	1704,60	0,329	Menunggu <i>picker</i>	75,03%
4	5	Seri	94,71	1694,88	0,277	Menunggu <i>picker</i>	72,77%
5	2	Paralel	4193,76	11494,54	1	Menunggu <i>picker</i>	99,56%
					0,391		
6	3	Paralel	129,22	1244,71	0,395	Menunggu <i>picker</i>	93,89%
					0,439		
					0,492		
7	4	Paralel	85,99	933,60	0,323	Menunggu <i>picker</i>	89,88%
					0,305		
					0,441		
					0,278		
8	5	Paralel	71,77	965,91	0,263	Menunggu <i>picker</i>	81,44%
					0,328		
					0,466		
					0,274		
					0,243		

Tabel 4. 9 Rekap Hasil Persentase Komponen *Order Cycle Time*

Skenario	Jenis <i>Picking</i>	Persentase Waktu Tunggu <i>Picker</i>	Persentase Waktu Tunggu <i>Batch</i>	Persentase Waktu Tunggu <i>Buka</i>	Persentase Waktu <i>Travel</i>	Persentase <i>Processing Time</i>
1	Seri	92,40%	7,40%	0,10%	0,04%	0,06%
2	Seri	79,33%	4,23%	8,22%	3,29%	4,93%
3	Seri	75,03%	8,44%	8,27%	3,31%	4,96%
4	Seri	72,77%	8,45%	9,39%	3,76%	5,63%
5	Paralel	99,56%	0,00%	0,22%	0,09%	0,13%
6	Paralel	93,89%	0,00%	3,06%	1,22%	1,83%
7	Paralel	89,88%	0,00%	5,06%	2,02%	3,04%
8	Paralel	81,44%	0,00%	9,28%	3,71%	5,57%

Tabel 4. 10 Rekap Utilitas *Picker* Hasil Simulasi

<i>Serial Picking</i>				<i>Paralel Picking</i>			
Skenario	Jumlah <i>Picker</i>	Nama <i>Picker</i>	Utilitas	Skenario	Jumlah <i>Picker</i>	Nama <i>Picker</i>	Utilitas
1	2	Picker Seri 1	1,00	5	2	Picker Full	1,00
		Picker Seri 2	1,00			Picker Broken	0,39
2	3	Picker Seri 1	0,48	6	3	Picker Broken	0,40
		Picker Seri 2	0,48			Picker Line A	0,44
		Picker Seri 3	0,48			Picker Line B	0,49
3	4	Picker Seri 1	0,39	7	4	Picker Broken	0,32
		Picker Seri 2	0,39			Picker Line A	0,31
		Picker Seri 3	0,39			Picker Line B	0,44
		Picker Seri 4	0,39			Picker Line C	0,28
4	5	Picker Seri 1	0,28	8	5	Picker Broken	0,26
		Picker Seri 2	0,28			Picker Line A	0,33
		Picker Seri 3	0,28			Picker Line B	0,47
		Picker Seri 4	0,28			Picker Line C	0,27
		Picker Seri 5	0,28			Picker Line D	0,24

BAB 5

ANALISIS DAN INTERPRETASI

Pada bab ini dijelaskan mengenai analisis dan interpretasi hasil simulasi. Analisis yang dilakukan meliputi analisis *order cycle time* dan utilitas *picker* serta analisis pemilihan skenario terbaik.

5.1 Analisis Order Cycle Time dan Utilitas Picker

Pada subbab ini dijelaskan mengenai *order cycle time* dan juga utilitas *picker* untuk masing-masing skenario berdasarkan jumlah *picker*-nya.

5.1.1 Skenario 2 Orang Picker

Seperti yang disajikan pada Tabel 4.8 sebelumnya, diperoleh bahwa kondisi eksisting, yaitu sistem *serial picking* dengan *picker* sebanyak dua orang, memiliki *order cycle time* yang paling panjang, yaitu 4258,38 menit atau setara dengan 3,1 hari dengan kemungkinan *order cycle time* terpanjang mencapai 12506,16 menit atau setara dengan 8,46 hari, di mana hal ini sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan. Berdasarkan hasil laporan simulasi dengan *software* ARENA, diperoleh bahwa antrian terbanyak adalah pada menunggu *picker*. Antrian pada tunggu *picker* ini diperoleh lebih tinggi dengan sangat signifikan bila dibandingkan dengan antrian pada proses *batch* dan antrian menunggu jam buka.

Berdasarkan jumlah antrian tersebut dapat diidentifikasi bahwa jumlah *picker* mengalami kekurangan. Hal ini diperkuat dengan persentase komponen *order cycle time* yang paling berpengaruh adalah waktu tunggu *picker* dengan persentase 92,40% dari total *order cycle time*. Diperoleh pula bahwa rata-rata utilitas *picker* pada sistem *serial picking* dengan jumlah *picker* dua orang ini adalah sebesar 1,00. Hal ini berarti bahwa dalam sembilan jam kerja, masing-masing *picker* bekerja penuh untuk melakukan *order picking*. Utilitas yang bernilai 1,00 ini merupakan indikasi bahwa jumlah *picker* adalah kurang, sama seperti kondisi yang ada di lapangan. Sehingga seperti yang dijelaskan sebelumnya, langkah perbaikan yang akan dilakukan adalah dengan penambahan jumlah *picker*.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa komponen *cycle time* yang paling berpengaruh adalah waktu tunggu *picker*. Hal ini sangat memungkinkan terjadi karena jumlah *picker* yang hanya dua orang, sehingga memungkinkan terjadinya penumpukan DO yang semakin banyak dan berdampak pada waktu tunggu *picker* yang semakin naik pula. Waktu tunggu *picker* ini sangat erat kaitannya dengan waktu antar kedatangan order. Waktu tunggu *picker* akan turun seiring dengan semakin naiknya waktu antar kedatangan order. Tentunya waktu tunggu *picker* ini juga akan semakin turun dengan adanya penambahan jumlah *picker*.

Dengan jumlah *picker* yang sama, dilakukan percobaan dengan mengubah aturan penugasan *picker* yaitu dengan *paralel picking*. Dua orang *picker* ditugaskan masing-masing pada area *full* dan area *broken*, masing-masing *picker* hanya bisa melakukan kegiatan pengambilan barang pada area yang telah ditentukan saja. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh bahwa hanya dengan mengubah sistem penugasan *picker* dapat mengurangi *order cycle time* dari kondisi eksisting, yaitu dari rata-rata 3,1 hari menjadi 2,9 hari. Memang terjadi penurunan namun penurunan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Dari segi utilitas *picker*, untuk sistem *paralel picking* ini memungkinkan utilitas antar *picker* tidak seimbang. Diperoleh dengan dua orang *picker* masing-masing utilitasnya untuk *picker broken* adalah 1,00 dan untuk *picker full* adalah 0,391.

5.1.2 Skenario 3 Orang Picker

Selanjutnya telah dilakukan percobaan dengan menambah *picker* menjadi tiga orang. Penambahan satu orang *picker* ini membawa pengaruh yang sangat signifikan terhadap kondisi eksisting. Untuk sistem *serial picking*, diperoleh bahwa DO dapat selesai diproses maksimum dalam waktu 2 hari setelah order datang, dengan rata-rata waktu *order cycle time* adalah 149,18 menit. Hal ini terjadi karena penambahan satu orang *picker* ini mampu mengurangi antrian pada proses menunggu *picker* yang sangat signifikan, yaitu dengan maksimum hanya 96 entitas atau DO yang mengantri pada proses ini berdasarkan *report* dari hasil simulasi dengan ARENA. Diperoleh pula bahwa persentase kontribusi waktu tunggu *picker* mengalami penurunan sebanyak 13,07% yaitu menjadi 79,33% dari total *order cycle*

time. Adanya penurunan *order cycle time* serta persentase waktu tunggu *picker* ini mengindikasikan bahwa dengan adanya penambahan *picker* mampu membawa perbaikan terhadap kondisi *eksisting*. Dilihat dari segi utilitas pun, utilitas rata-rata untuk ketiga orang *picker* ini adalah 0,483 yang merupakan proporsi yang cukup baik, yaitu cenderung berada di tengah, tidak terlalu tinggi atau terlalu sibuk namun juga tidak terlalu rendah.

Bila dengan sistem *parallel picking*, percobaan penambahan *picker* menjadi tiga orang juga membawa perubahan yang signifikan. Bahkan rata-rata *order cycle time* yang dihasilkan lebih kecil dari yang dihasilkan oleh sistem *serial picking*, yaitu 129,22 menit dengan kemungkinan maksimum *cycle time* mencapai 1244,71 menit. Sama seperti pada sistem *serial picking*, penambahan *picker* ini mampu membawa perbaikan bila dilihat dari segi penurunan *order cycle time* karena penambahan *picker* ini mampu mengurangi waktu tunggu *picker*. Rata-rata *order cycle time* yang diperoleh ini cenderung lebih kecil dari sistem *serial picking*, karena dalam sistem *parallel picking* tidak diperlukan adanya waktu tunggu *batch*. Dari segi utilitas, seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa untuk sistem *parallel picking* memiliki kecenderungan tidak seimbang dari segi utilitas. Untuk sistem dengan tiga orang *picker* dinilai utilitasnya masih cukup baik dari keseimbangan maupun utilitasnya itu sendiri.

5.1.3 Skenario 4 dan 5 Orang Picker

Pada dasarnya *order cycle time* akan turun sering dengan penambahan jumlah *picker*. Untuk skenario dengan empat dan lima orang *picker*, meskipun sangat signifikan terhadap kondisi *eksisting*, namun penurunan yang dihasilkan adalah tidak terlalu signifikan dari penambahan satu orang *picker* sebelumnya. Untuk sistem dengan empat orang *picker*, dihasilkan *cycle time* untuk masing-masing *serial* dan *parallel picking* adalah mencapai rata-rata 104,94 menit dan 85,99 menit. Sedangkan untuk lima orang *picker* masing-masing menghasilkan 94,71 menit dan 71,77 menit untuk *serial* dan *parallel picking*. Bila dilihat dari segi *cycle time*, skenario dengan lima orang *picker* membawa pengaruh yang paling signifikan terhadap kondisi *eksisting*. Namun dari segi utilitas, baik skenario dengan empat maupun lima orang *picker* menghasilkan utilitas yang kurang baik. Untuk *serial*

picking, empat orang *picker* menghasilkan rata-rata utilitas sebesar 0,329 dan untuk lima orang *picker* menghasilkan rata-rata utilitas sebesar 0,277. Angka-angka tersebut cenderung rendah yang mengindikasikan bahwa jumlah *picker* terlalu banyak untuk sistem yang ada. Begitu pula pada sistem *paralel picking*, yang juga menghasilkan utilitas yang cenderung rendah dan tidak seimbang antar *picker* satu dengan yang lain, yaitu dengan rata-rata 0,337 untuk empat *picker* dan 0,303 untuk lima *picker* dengan rincian angka utilitas seperti yang disajikan pada Tabel 4.10.

5.2 Analisis Pemilihan Skenario Terbaik

Pemilihan skenario terbaik didasari oleh parameter *order cycle time* dan juga utilitas *picker*, baik angka utilitas itu sendiri maupun dari segi keseimbangan utilitas antar *picker*. Berikut merupakan diagram plot untuk membandingkan antar skenario dengan parameter tersebut.



Gambar 5. 1 Diagram Plot Perbandingan Antar Skenario

Berdasarkan analisis *order cycle time* dan utilitas *picker*, dapat diidentifikasi bahwa hanya dengan penambahan satu orang *picker* mampu memberikan perbaikan yang signifikan terhadap *order cycle time*. Selain itu, dari segi angka utilitas, sistem dengan tiga orang *picker* memiliki angka yang paling optimum yaitu antara 0,4

hingga 0,5. Di mana angka ini berarti *picker* memiliki tingkat kesibukan yang cukup atau berada di tengah-tengah, tidak terlalu tinggi dan juga tidak terlalu rendah. Sehingga dari segi jumlah *picker*, skenario terpilih adalah skenario dengan tiga orang *picker*.

Dari segi utilitas, sistem *paralel picking* memiliki kecenderungan lebih tidak seimbang bila dibandingkan dengan sistem *serial picking*. Namun *paralel picking* memiliki kelebihan menghasilkan *order cycle time* lebih rendah. Selain parameter *cycle time* dan utilitas *picker*, sistem *paralel picking* memungkinkan pengambilan barang yang lebih mudah. Sebab masing-masing *picker* telah ditugaskan pada area-area tertentu dan memungkinkan *picker* sangat memahami tata letak barang pada areanya sehingga pengambilan barang menjadi lebih mudah. Meskipun demikian, untuk jangka panjang proses *paralel picking* memerlukan *adjustment* secara berkala terhadap area penugasan masing-masing *picker*. Hal ini mengingat pembagian area untuk setiap *picker* didasari oleh frekuensi order yang sebenarnya adalah bersifat fluktuatif. Dalam hal ini, *serial picking* lebih unggul karena lebih fleksibel dan tidak memerlukan adanya *adjustment* secara berkala.

Untuk penentuan sistem *picking* yang dipilih, penulis lebih menyarankan untuk mengaplikasikan sistem *paralel picking*. Hal ini dikarenakan tujuan dari adanya penelitian ini adalah untuk meminimasi waktu pemenuhan order, mengingat sistem *paralel picking* menghasilkan *cycle time* yang lebih kecil bila dibandingkan dengan sistem *paralel picking*.

LAMPIRAN

Pada bagian Lampiran ini, akan disajikan data-data berupa tabel dan gambar yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel L. 1 Data *Processing Time*

Trial	Processing Time	Trial	Processing Time
1	7,45	26	6,60
2	1,58	27	5,50
3	0,52	28	4,77
4	1,03	29	2,15
5	0,97	30	5,20
6	0,88	31	1,41
7	1,22	32	3,13
8	2,02	33	2,39
9	1,93	34	2,90
10	0,72	35	2,56
11	2,13	36	4,18
12	1,22	37	6,54
13	1,52	38	3,03
14	0,90	39	3,02
15	1,05	40	2,01
16	1,28	41	4,45
17	1,12	42	4,01
18	0,83	43	2,57
19	0,97	44	6,02
20	1,77	45	3,03
21	2,37	46	1,51
22	0,53	47	2,23
23	1,43	48	5,44
24	2,58	49	5,54
25	3,85	50	5,14

Tabel L. 2 Data Kombinasi Isi Order

No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
1	-18	8565	11,95%	1	18								
2	-14	7142	9,97%	1	14								
3	-17	6097	8,51%	1	17								
4	-20	4868	6,79%	1	20								
5	-12	4444	6,20%	1	12								
6	-11	4253	5,93%	1	11								
7	-13	3468	4,84%	1	13								
8	-9	3418	4,77%	1	9								
9	-4	3132	4,37%	1	4								
10	-8	3004	4,19%	1	8								
11	-15	966	1,35%	1	15								
12	-3	832	1,16%	1	3								
13	-16	762	1,06%	1	16								
14	-19	704	0,98%	1	19								
15	-5	372	0,52%	1	5								
16	-10	228	0,32%	1	10								
17	-6	86	0,12%	1	6								
18	-2	67	0,09%	1	2								
19	-7	65	0,09%	1	7								
20	1	33	0,05%	1	1								
21	-17-18	2084	2,91%	2	17	18							
22	-18-20	1589	2,22%	2	18	20							
23	-13-14	1450	2,02%	2	13	14							
24	-17-20	1416	1,98%	2	17	20							

No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
25	-9-13	796	1,11%	2	9	13							
26	-11-12	625	0,87%	2	11	12							
27	-8-9	578	0,81%	2	8	9							
28	-4-13	424	0,59%	2	4	13							
29	-11-13	421	0,59%	2	11	13							
30	-19-20	398	0,56%	2	19	20							
31	-11-17	371	0,52%	2	11	17							
32	-17-19	344	0,48%	2	17	19							
33	-16-17	341	0,48%	2	16	17							
34	-10-18	333	0,46%	2	10	18							
35	-12-17	314	0,44%	2	12	17							
36	-2-18	200	0,28%	2	2	18							
37	-3-14	178	0,25%	2	3	14							
38	-3-13	175	0,24%	2	3	13							
39	-15-20	163	0,23%	2	15	20							
40	-12-16	149	0,21%	2	12	16							
41	-12-20	123	0,17%	2	12	20							
42	-9-15	123	0,17%	2	9	15							
43	-11-18	115	0,16%	2	11	18							
44	-16-20	108	0,15%	2	16	20							
45	-5-17	105	0,15%	2	5	17							
46	-11-15	99	0,14%	2	11	15							
47	-13-15	94	0,13%	2	13	15							
48	-5-18	82	0,11%	2	5	18							

No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
49	-8-13	82	0,11%	2	8	13							
50	-3-9	81	0,11%	2	3	9							
51	-4-9	78	0,11%	2	4	9							
52	-16-18	74	0,10%	2	16	18							
53	-12-13	70	0,10%	2	12	13							
54	-10-17	62	0,09%	2	10	17							
55	-12-15	60	0,08%	2	12	15							
56	-4-15	52	0,07%	2	4	15							
57	-14-15	51	0,07%	2	14	15							
58	-11-20	50	0,07%	2	11	20							
59	-12-18	49	0,07%	2	12	18							
60	-6-20	48	0,07%	2	6	20							
61	-3-11	47	0,07%	2	3	11							
62	-18-19	44	0,06%	2	18	19							
63	-10-20	40	0,06%	2	10	20							
64	-10-12	35	0,05%	2	10	12							
65	-3-4	35	0,05%	2	3	4							
66	-12-19	30	0,04%	2	12	19							
67	-15-17	27	0,04%	2	15	17							
68	-16-19	20	0,03%	2	16	19							
69	-15-19	14	0,02%	2	15	19							
70	-9-12	14	0,02%	2	9	12							
71	-11-16	13	0,02%	2	11	16							
72	-3-12	12	0,02%	2	3	12							

No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
73	-15-18	11	0,02%	2	15	18							
74	-9-14	11	0,02%	2	9	14							
75	-10-19	11	0,02%	2	10	19							
76	-3-8	11	0,02%	2	3	8							
77	-10-16	10	0,01%	2	10	16							
78	-5-19	10	0,01%	2	5	19							
79	-11-19	10	0,01%	2	11	19							
80	-5-20	10	0,01%	2	5	20							
81	-15-16	9	0,01%	2	15	16							
82	-2-20	9	0,01%	2	2	20							
83	-8-15	9	0,01%	2	8	15							
84	-3-15	8	0,01%	2	3	15							
85	-17-18-20	744	0,01%	2	4	12							
86	-12-17-20	191	1,04%	3	17	18	20						
87	-12-17-18	180	0,27%	3	12	17	20						
88	-11-17-18	156	0,25%	3	12	17	18						
89	-11-12-17	138	0,22%	3	11	17	18						
90	-13-14-15	131	0,19%	3	11	12	17						
91	-10-18-20	123	0,18%	3	13	14	15						
92	-16-17-18	102	0,17%	3	10	18	20						
93	-8-9-13	101	0,14%	3	16	17	18						
94	-15-17-20	92	0,14%	3	8	9	13						
95	-3-13-14	88	0,13%	3	15	17	20						
96	-17-19-20	86	0,12%	3	3	13	14						

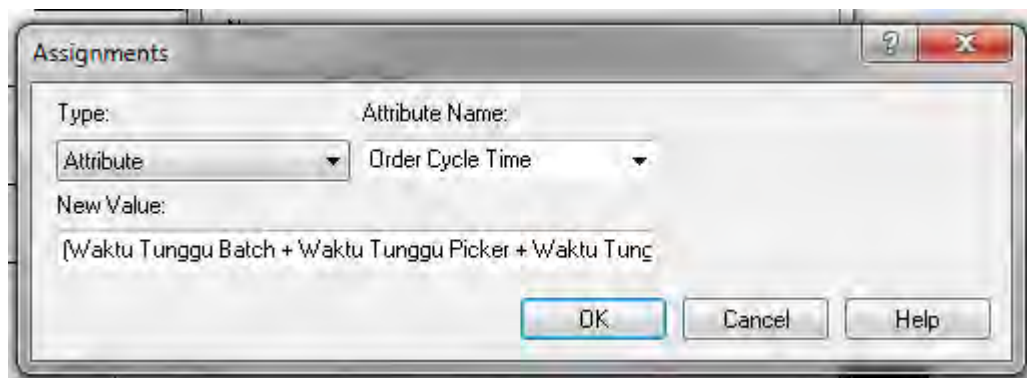
No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
97	-16-17-20	81	0,12%	3	17	19	20						
98	-11-12-13	81	0,11%	3	16	17	20						
99	-17-18-19	78	0,11%	3	11	12	13						
100	-11-19-20	70	0,11%	3	17	18	19						
101	-9-13-15	66	0,10%	3	11	19	20						
102	-2-18-20	64	0,09%	3	9	13	15						
103	-3-9-13	55	0,09%	3	2	18	20						
104	-14-17-20	49	0,08%	3	3	9	13						
105	-10-17-18	47	0,07%	3	14	17	20						
106	-11-17-20	41	0,07%	3	10	17	18						
107	-3-11-13	39	0,06%	3	11	17	20						
108	-12-16-17	37	0,05%	3	3	11	13						
109	-16-17-19	36	0,05%	3	12	16	17						
110	-11-12-15	35	0,05%	3	16	17	19						
111	-11-18-20	33	0,05%	3	11	12	15						
112	-18-19-20	29	0,05%	3	11	18	20						
113	-10-17-20	28	0,04%	3	18	19	20						
114	-11-13-15	22	0,04%	3	10	17	20						
115	-11-13-17	22	0,03%	3	11	13	15						
116	-10-16-18	22	0,03%	3	11	13	17						
117	-5-17-20	21	0,03%	3	10	16	18						
118	-4-13-15	21	0,03%	3	5	17	20						
119	-12-18-20	18	0,03%	3	4	13	15						
120	-3-4-13	18	0,03%	3	12	18	20						

No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
121	-10-17-19	17	0,03%	3	3	4	13						
122	-5-17-18	17	0,02%	3	10	17	19						
123	-12-15-17	16	0,02%	3	5	17	18						
124	-12-16-20	15	0,02%	3	12	15	17						
125	-11-15-16	15	0,02%	3	12	16	20						
126	-15-18-20	14	0,02%	3	11	15	16						
127	-4-9-13	14	0,02%	3	15	18	20						
128	-10-12-18	14	0,02%	3	4	9	13						
129	-12-17-19	13	0,02%	3	10	12	18						
130	-16-18-20	12	0,02%	3	12	17	19						
131	-8-9-15	12	0,02%	3	16	18	20						
132	-5-17-19	11	0,02%	3	8	9	15						
133	-11-12-18	11	0,02%	3	5	17	19						
134	-11-12-20	11	0,02%	3	11	12	18						
135	-11-15-20	10	0,02%	3	11	12	20						
136	-2-17-18	9	0,01%	3	11	15	20						
137	-10-16-17	9	0,01%	3	2	17	18						
138	-11-12-16	9	0,01%	3	10	16	17						
139	-9-12-17	9	0,01%	3	11	12	16						
140	-3-8-9	9	0,01%	3	9	12	17						
141	-3-8-13	8	0,01%	3	3	8	9						
142	-10-12-17	7	0,01%	3	3	8	13						
143	-8-13-15	6	0,01%	3	10	12	17						
144	-4-12-17	6	0,01%	3	8	13	15						

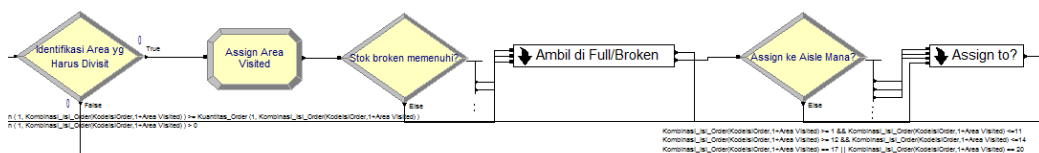
No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
145	-6-18-20	5	0,01%	3	4	12	17						
146	-11-15-19	5	0,01%	3	6	18	20						
147	-12-15-16	5	0,01%	3	11	15	19						
148	-16-19-20	5	0,01%	3	12	15	16						
149	-11-15-18	5	0,01%	3	16	19	20						
150	-12-15-20	4	0,01%	3	11	15	18						
151	-10-17-18-20	125	0,17%	4	10	17	18	20					
152	-12-14-17-20	98	0,14%	4	12	14	17	20					
153	-10-12-15-20	82	0,11%	4	10	12	15	20					
154	-14-16-17-20	61	0,09%	4	14	16	17	20					
155	-11-17-18-20	56	0,08%	4	11	17	18	20					
156	-14-16-17-18	49	0,07%	4	14	16	17	18					
157	-3-11-12-13	41	0,06%	4	3	11	12	13					
158	-3-13-14-15	39	0,05%	4	3	13	14	15					
159	-12-17-18-20	38	0,05%	4	12	17	18	20					
160	-5-17-18-20	34	0,05%	4	5	17	18	20					
161	-17-18-19-20	30	0,04%	4	17	18	19	20					
162	-10-12-17-19	26	0,04%	4	10	12	17	19					
163	-14-15-17-20	19	0,03%	4	14	15	17	20					
164	-10-17-19-20	17	0,02%	4	10	17	19	20					
165	-15-17-18-20	17	0,02%	4	15	17	18	20					
166	-3-8-9-13	16	0,02%	4	3	8	9	13					
167	-8-9-13-15	16	0,02%	4	8	9	13	15					
168	-16-17-18-20	16	0,02%	4	16	17	18	20					

No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
169	-12-15-17-20	15	0,02%	4	12	15	17	20					
170	-12-17-19-20	15	0,02%	4	12	17	19	20					
171	-11-12-13-15	13	0,02%	4	11	12	13	15					
172	-16-17-19-20	12	0,02%	4	16	17	19	20					
173	-11-12-17-18	9	0,01%	4	11	12	17	18					
174	-11-12-15-16	9	0,01%	4	11	12	15	16					
175	-11-12-17-20	8	0,01%	4	11	12	17	20					
176	-12-16-17-20	7	0,01%	4	12	16	17	20					
177	-10-16-17-19	6	0,01%	4	10	16	17	19					
178	-3-11-13-15	6	0,01%	4	3	11	13	15					
179	-2-17-18-20	6	0,01%	4	2	17	18	20					
180	-10-11-12-17	6	0,01%	4	10	11	12	17					
181	-3-9-13-15	6	0,01%	4	3	9	13	15					
182	-10-16-17-20	5	0,01%	4	10	16	17	20					
183	-11-13-17-18	5	0,01%	4	11	13	17	18					
184	-12-16-18-19-20	82	0,11%	5	12	16	18	19	20				
185	-12-14-15-17-20	47	0,07%	5	12	14	15	17	20				
186	-10-16-17-18-20	27	0,04%	5	10	16	17	18	20				
187	-11-12-17-18-20	11	0,02%	5	11	12	17	18	20				
188	-12-15-17-18-20	10	0,01%	5	12	15	17	18	20				
189	-11-14-17-18-20	9	0,01%	5	11	14	17	18	20				
190	-10-16-17-19-20	5	0,01%	5	10	16	17	19	20				
191	-3-11-12-13-15	5	0,01%	5	3	11	12	13	15				
192	-10-12-16-17-18-20	106	0,15%	6	10	12	16	17	18	20			

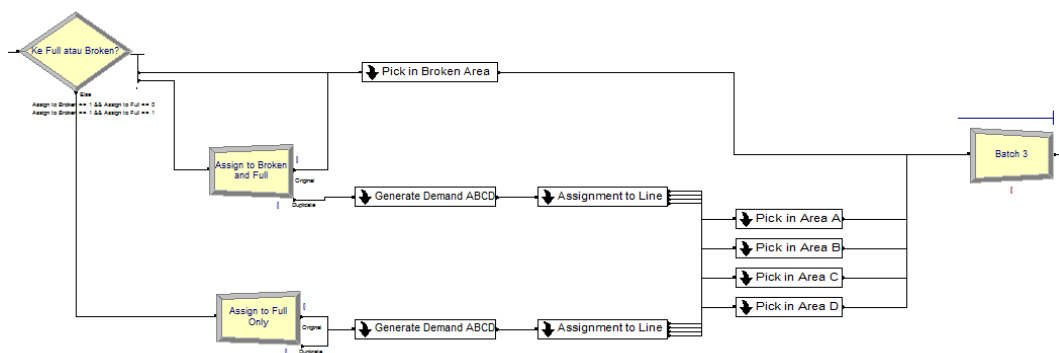
No	Area Combination	Freq	Prob	No of Areas	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7	Area 8	Area 9
193	-10-12-14-16-17-18	49	0,07%	6	10	12	14	16	17	18			
194	-11-14-15-17-18-20	5	0,01%	6	11	14	15	17	18	20			
195	-5-11-14-17-18-20	5	0,01%	6	5	11	14	17	18	20			
196	-5-14-15-17-18-20	5	0,01%	6	5	14	15	17	18	20			
197	-10-12-14-16-17-18-20	11	0,02%	7	10	12	14	16	17	18	20		
198	-10-11-12-14-17-18-20	8	0,01%	7	10	11	12	14	17	18	20		
199	-10-11-12-14-15-17-18-20	11	0,02%	8	10	11	12	14	15	17	18	20	
200	-5-10-11-12-14-15-17-18-20	5	0,01%	9	5	10	11	12	14	15	17	18	20



Gambar L. 1 Perhitungan *Order Cycle Time*



Gambar L. 2 Logika *Assignment* Order dan Area Tujuan pada Sistem *Parallel Picking*



Gambar L. 3 Logika Proses Paralel Picking

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan penelitian yang mengacu pada tujuan dari penelitian ini, serta saran-saran terhadap penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah dua poin kesimpulan yang menjawab tujuan dari adanya penelitian ini.

1. Jumlah *picker* yang dinilai paling baik untuk sistem *order picking* pada gudang pusat distribusi pada PT X dengan fluktuasi permintaan yang ada adalah sebanyak tiga orang *picker*. Hal ini dikarenakan hanya dengan penambahan satu orang *picker* sudah mampu membawa perbaikan yang sangat signifikan, yaitu dari *cycle time* eksisting rata-rata lebih dari tiga hari menjadi maksimum hanya 2 hari saja dengan rata-rata *order cycle time* 129,22 menit. Sedangkan penambahan dua hingga tiga orang *picker* menghasilkan *order cycle time* yang tidak terlalu signifikan terhadap penambahan satu orang *picker*. Sehingga PT X hanya perlu menambahkan satu orang *picker* saja.
2. Dari segi aturan penugasan *picker*, berdasarkan percobaan yang dilakukan dipilih skenario dengan sistem *paralel picking* yang memungkinkan masing-masing *picker* memiliki tanggung jawab terhadap area tertentu saja. Hal ini dikarenakan sistem *order picking* dengan tiga *picker* untuk sistem paralel menghasilkan *order cycle time* lebih kecil bila dibandingkan dengan sistem seri, yaitu dengan rata-rata *order cycle time* sebesar 129,22 menit dengan kemungkinan *order cycle time* maksimum sebesar 1244,71 menit atau 20,7 jam.

6.2 Saran

Berikut ini merupakan saran untuk penelitian selanjutnya terkait dengan *order picking*.

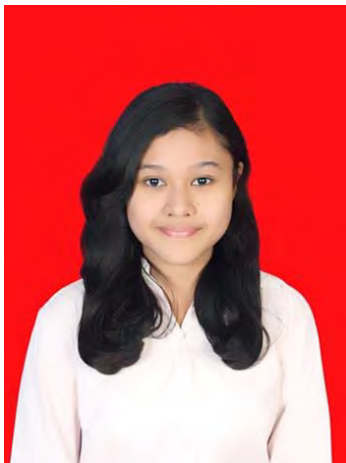
1. Penelitian selanjutnya dapat mengobservasi lebih dalam terkait *routing* pada aktivitas *order picking*.
2. Penelitian selanjutnya juga dapat mengkaji mengenai frekuensi *adjustment* yang harus dilakukan PT X dalam penentuan penugasan area untuk masing-masing *picker* dengan adanya fluktuasi permintaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alitok, T. & Melamed, B., 2007. *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. New Jersey: Academic Press.
- Anon., 2015. *Perumbuhan Ekspor Sepatu Indonesia Berlanjut di 2016*. [Online] Available at: <http://www.indonesia-investments.com/id/berita/berita-hari-ini/pertumbuhan-ekspor-sepatu-indonesia-berlanjut-di-2016/item6336> [Diakses 17 March 2016].
- Dukic, G. & Oluic, C., 2005. Order Picking Methods: Improving Order-Picking Efficiency.
- EU - Indonesia Business Network, 2014. *Sector Reports: Textile and Footwear*. Jakarta: EIBN.
- Jorge, J. P., Kokkinogenis, Z., Rosetti, R. & Marques, M., 2012. Simulation of an Order Picking System in Pharmaceutical Warehouse. pp. 107-112.
- Kemendag, 2013. *Kementerian Perdagangan Republik Indonesia*. [Online] Available at: http://inatrimis.kemendag.go.id/id/product/detail/produksi-dan-perdagangan-indonesia_471/?market=cn [Diakses 17 March 2016].
- Kemenperin, 2014. *Kemenperin Terus Dorong Pengembangan Industri Alas Kaki Nasional*. [Online] Available at: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/9745/Kemenperin-Terus-Dorong-Pengembangan-Industri-Alas-Kaki-Nasional> [Diakses 17 March 2016].
- Kemenperin, 2014. *Kementerian Perindustrian Republik Indonesia*. [Online] Available at: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/9590/Kemenperin-Siapkan-Langkah-Strategis-Sektor-Industri-Hadapi-MEA-2015> [Diakses 17 March 2016].
- Koster, R. d., Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J., 2007. Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. pp. 1-22.

- Lee, J. A., Chang, Y. S., Shim, H.-J. & Cho, S.-J., 2015. A Study on the Picking Process Time. Volume 3, pp. 731-638.
- Nugroho, W. S., 2016. *Simulation Study of Storage Allocation in Warehouse Under Uncertain Demand*. Surabaya: ITS.
- Pan, J. C.-H., Shih, P.-H. & Wu, M.-H., 2015. Order *Batching* in a Pick-and-pass Warehousing System with Group Genetic Algorithm. Volume 57, pp. 238-248.
- Pan, J. C.-H. & Wu, M.-H., 2012. Throughput Analysis for Order Picking System with Multiple *Pickers* and Aisle Congestion Consideration. *Computers & Operation Research*, Volume 39, pp. 1661-1672.
- Piasecki, D., 2012. *Inventoryops.com*. [Online] Available at: http://www.inventoryops.com/order_picking.htm [Diakses 3 Februari 2016].
- Pujawan, I. N. & Mahendrawati, E., 2010. *Supply Chain Management*. 2nd penyunt. Surabaya: Guna Widya.
- Suryo, A. R., 2016. *Simulation Study of Multi-level Warehousing System to Accomodate Seasonal Demand of Footwear Products*. Surabaya: ITS.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis, Elsa Winanda Rezky, lahir pada tanggal 29 Agustus 1994 di Surabaya, Indonesia. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Edwin Adiananda dan Elviera Sittania. Sebelum menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Banyumanik 02 Semarang (2000-2006), pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 12 Surabaya (2006-2009), dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 6 Surabaya (2009-2012). Selama menempuh Sekolah Menengah Pertama, penulis aktif dalam kegiatan ekstrakurikuler Paskibra yang kerap kali mengikuti kejuaraan di tingkat kota maupun provinsi. Kemudian ketika penulis menempuh Sekolah Menengah Atas, penulis aktif pada kegiatan ekstrakurikuler paduan suara dan bergabung dengan tim Sixers Voice Choir (SVC) mulai dari awal masuk SMA hingga tahun terakhir penulis di SMA. Penulis telah mengikuti berbagai kejuaraan paduan suara mulai dari tingkat antar sekolah, antar provinsi, hingga tingkat internasional. Penulis mempelajari banyak hal dari kegiatan-kegiatan yang diikuti tersebut, khususnya belajar mengenai kerja sama dalam tim dan mengerjakan pekerjaan sesuai dengan *passion* penulis.

Selama perkuliahan, penulis mengembangkan ilmu dan *soft skill* dengan bergabung dalam Laboratorium Logistics and Supply Chain Management (LSCM) sebagai asisten sekaligus sekretaris laboratorium. Penulis juga melakukan kerja praktek di PT Angkasa Pura 1 di departemen Corporate Planning and Performance di semester keenam perkuliahan, yaitu pada pertengahan tahun 2015. Dalam mengembangkan *hard skill*-nya, penulis aktif mengikuti pelatihan-pelatihan *software* di antaranya pelatihan 3Ds Max, Photoshop dan Corel Draw, VBA, dan ARENA. Akhirnya penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan tepat waktu, yaitu pada semester 8, dan dinyatakan lulus dari Jurusan Teknik Industri ITS dan mendapatkan gelar sarjana teknik.